

---

# **BACHELORARBEIT**

---

Herr  
**Norbert Leonhardt**

**Technische Analyse wichtiger  
digitaler Audionetzwerke hin-  
sichtlich ihrer Anwendung in  
der Wirtschaft**

**2013**

# **BACHELORARBEIT**

---

## **Technische Analyse wichtiger digitaler Audionetzwerke hin- sichtlich ihrer Anwendung in der Wirtschaft**

Autor:  
**Herr Norbert Leonhardt**

Studiengang:  
**Medientechnik**

Seminargruppe:  
**MT09wH-B**

Erstprüfer:  
**Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel**

Zweitprüfer:  
**Dipl.-Toning. Mike Winkler**

Einreichung:  
Mittweida, 23. August 2013

# **BACHELOR THESIS**

---

## **various kind of Digital Audio Networks - a Comparison**

author:

**Mr. Norbert Leonhardt**

course of studies:

**Media Technology**

seminar group:

**MT09wH-B**

first examiner:

**Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel**

second examiner:

**Dipl.-Toning. Mike Winkler**

submission:

**Mittweida, 23rd August 2013**

---

## **Bibliografische Angaben**

Leonhardt, Norbert:

### **Technische Analyse wichtiger digitaler Audionetzwerke hinsichtlich ihrer Anwendung in der Wirtschaft**

various kind of Digital Audio Networks - a Comparison

82 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,  
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2013

## **Abstract**

Diese Arbeit befasst sich mit verschiedenen digitalen Audionetzwerken, welche derzeit von verschiedenen Herstellern eingesetzt werden. Das Hauptaugenmerk liegt auf weit verbreiteten und häufig eingesetzten Netzwerken. Weiterhin finden Netzwerk, welche in den letzten Jahren veröffentlicht wurden und eine geringe Bekanntheit, jedoch auf Grund ihrer Eigenschaften ein hohes Nutzungspotential besitzen, Erwähnung. Die ausgewählten Audionetzwerke werden in alphabetischer Reihenfolge vorgestellt. Bei jedem Netzwerk werden besonders die technischen Eigenschaften Geschwindigkeit, Kapazität, Latenz und Synchronisation berücksichtigt. Den Abschluss der Arbeit bildet eine tabellarische Zusammenfassung der zentralen Eigenschaften aller behandelten Netzwerke.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>X</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Aviom Pro64.....</b>	<b>5</b>
2.1 Einleitung.....	5
2.2 Technische Merkmale .....	6
2.3 Anwendung von Aviom Pro64 .....	12
<b>3 CobraNet .....</b>	<b>13</b>
3.1 Einleitung.....	13
3.2 Technische Merkmale .....	14
3.3 Anwendung von CobraNet .....	16
<b>4 Dante.....</b>	<b>17</b>
4.1 Einleitung.....	17
4.2 Technische Merkmale .....	19
4.3 Anwendung von Dante .....	23
<b>5 EtherSound .....</b>	<b>25</b>
5.1 Einleitung.....	25
5.2 Technische Merkmale .....	26
5.3 Anwendung von EtherSound.....	31
<b>6 Multichannel Audio Digital Interface .....</b>	<b>32</b>
6.1 Einleitung.....	32
6.2 Technische Merkmale .....	33
6.3 Anwendung von AES10 / MADI .....	37
<b>7 OPTOCORE .....</b>	<b>39</b>
7.1 Einleitung.....	39
7.2 Technische Merkmale .....	41
7.3 Anwendung von OPTOCORE .....	44

---

<b>8</b>	<b>RAVENNA</b> .....	<b>45</b>
8.1	Einleitung.....	45
8.2	Technische Merkmale .....	46
8.3	Anwendung von Ravenna .....	50
<b>9</b>	<b>RockNet</b> .....	<b>51</b>
9.1	Einleitung.....	51
9.2	Technische Merkmale .....	52
9.3	Anwendung von RockNet.....	56
<b>10</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>57</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>XI</b>
	<b>Anlagen</b> .....	<b>XVIII</b>
	<b>Eigenständigkeitserklärung</b> .....	<b>XXI</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AES – Audio Engineering Society

AES/EBU – Audio Engineering Society/Europäische Rundfunkunion

AoE – Audio over Ethernet

AVB – Audio Video Bridging

BNC – Bayonet Neill Concelman (Geräteschnittstelle)

DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol

$F_s$  – sample frequency (Abtastfrequenz)

GPIO – General-purpose input/output (Schnittstelle zur Fernsteuerung von Geräten)

GPS – Global Positioning System

ID – Identifikationsnummer

kHz – Kiloherz (physikalische Einheit)

MADI – Multichannel Audio Digital Interface

MIDI – Musical Instrument Digital Interface

NDR – Norddeutscher Rundfunk

OCA – Open Control Architecture

PM – Primary Master (EtherSound)

QoS – Quality of Service

SFP - Small Form-factor Pluggable (Geräteschnittstelle für Netzwerkkomponenten)

UDP – User Datagram Protocol

USB – Universal Serial Bus

WAN – Wide Area Network

---

Ü-Wagen – Übertragungswagen



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau Aviom Pro64.....	7
Abbildung 2: Kanalgruppenzuordnung von 4 Geräten innerhalb eines Blocks .....	9
Abbildung 3: Anwendungsbeispiel MH10 im Konfigurationsmodus B .....	10
Abbildung 4: Überblick Aviom Pro64 Network Manager.....	11
Abbildung 5: Blockbild CobraNet.....	13
Abbildung 6: Schema Topologie Peer-to-Peer inkl. Redundanz .....	14
Abbildung 7: Aufbau eines Dante Netzwerks .....	17
Abbildung 8: Topologieschema Dante.....	19
Abbildung 9: Kanalmatrix Dante Controller .....	22
Abbildung 10: Topologie "Daisy-Chain".....	26
Abbildung 11: Topologie Daisy-Chain & Stern .....	27
Abbildung 12: Topologie Ring .....	28
Abbildung 13: Latenzdiagramm.....	29
Abbildung 15: MADi Router Firma RME Intelligent Audio .....	32
Abbildung 16: MADi Topologie Stern .....	33
Abbildung 17: MADi Topologie Peer-to-Peer .....	34
Abbildung 18: Schema 4B5B Synchronisation .....	35
Abbildung 19: D.O.TEC SPLIT.CONVERTER .....	36
Abbildung 20: Optocore Ring inkl. SANE .....	40
Abbildung 21: Topologie Optocore .....	41
Abbildung 22: Einblick in OPTOCORE remote control.....	43
Abbildung 23: Schema gemische Topologie .....	46
Abbildung 24: Ravenna Weboberfläche des D.O.TEC PRODUCER.COM.....	48
Abbildung 25: Komponenten eines Ravenna Geräts .....	49
Abbildung 26: Netzwerktopologie RockNet .....	52
Abbildung 27: Bedieneinheit Riedel RockNet RN.301.MI.....	54
Abbildung 28: Riedel RockNet RockWorks Bedienoberfläche .....	55

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung A-NET Slot Nummer zu den verwendeten Kanälen .....	8
Tabelle 2: Übersicht digitaler Audionetzwerke .....	59

# 1 Einleitung

Mit Beginn der großen Livekonzerte Mitte des 19. Jahrhunderts, begannen die ersten Firmen damit, Lösungen zu entwickeln um die anfallenden Signale über längere Strecken zwischen Bühne und Mischplatz zu transportieren. Viele Jahrzehnte wurden für die Übermittlung analoge Kabel verlegt. Seit Beginn wachsen jedoch die Zahlen der notwendigen Kanäle auf großen Veranstaltungen stetig an und damit auch der Bedarf diese zu übertragen. Damit für jeden Kanal kein einzelnes Kabel verlegt werden muss, wurden sogenannte Multicore entwickelt. Die Kabel führen beispielsweise bis zu 32 analoge Signale. Diese analogen Multicore haben jedoch einen entscheidenden Nachteil, sie sind groß und schwer. Weiterhin entstehen bei langen Übertragungswegen Verluste in der Qualität und Störgeräusche nehmen zu. Auf Grund der elektrischen Eigenschaften der Kabel, ist die Übertragung analoger Signale stark begrenzt. Weiterhin ist ein analoges Signal anfällig gegenüber Störsignalen, welche zum Beispiel durch Stromleitungen auftreten. Dennoch ist es notwendig, dass die Stromversorgung des Mischpults und der andere Geräte durch die selbe Stromquelle erfolgt, welche auch auf der Bühne zum Einsatz kommt. Anderenfalls treten Potentialunterschiede auf, welche als Störgeräusche hörbar werden. Da auf größeren Konzerten oder den ersten Festivals die möglichen 32 Kanäle nicht mehr ausreichten, begann man mit der Verlegung mehrere analoger Multicore. Damit war aber auch ein hoher Aufwand verbunden. Ein enormer Aufwand musste auch bei Veranstaltungen wie dem Eurovision Song Contest betrieben werden, um allen Rundfunkanstalten die notwendigen Audiosignale zur Verfügung zu stellen. Der Aufbau der Signalwege konnte bis zu mehreren Wochen dauern. Einige Ingenieure suchten nach einer Lösung diesen Aufwand zu verringern, damit Zeit und vor allem Kosten zu sparen. Auf Grundlage der ersten Informations- und Kommunikationssysteme entwickelten verschiedene Hersteller digitale Multicore in verschiedenen Ausführungen. Die ersten digitalen Audionetzwerke wurden vorerst nur im Installationsbereich verwendet. Bis zur Jahrtausendwende war der Einsatz digitaler Audionetzwerke im Live-Bereich undenkbar. Der Grund für die Verweigerung der modernen Technik, war oftmals das mangelnde Verständnis für die Funktionsweise der Technik. Die potenziellen Nutzer dieser Technik konnten sich nicht vorstellen, dass viele einzelne Kanäle in ein dünnes Glasfaser oder Netzkabel passen oder wie der Signalfluss vom Mikrofon zum Mischpult und zurück zum Verstärker verläuft. Seit dem viele Systeme veröffentlicht wurden und in vielen Bereichen erfolgreich eingesetzt wurden, erfolgten auch erste Einsätze im Live-Bereich. Jedoch wurden aus Sicherheitsgründen oft analoge Signalwege parallel aufgebaut. Damit konnte im Notfall auf das analoge System ausgewichen werden. Mit der Einführung digitaler Audionetzwerke, nahm auch die Verwendung von digitalen Mischpulten im Live-Betrieb zu. Auch große Rundfunkveranstaltungen wurden im Laufe der letzten Jahre mit digitalen Leitungsnetzen ausgestattet, da damit eine hohe Zeitersparnis erzielt wurde und alle beteiligten

Sendeanstalten und Mischplätze die gleich Audioqualität erhalten. Weiterhin sind störungsfreie Übertragungen über große Distanzen von mehreren hundert Metern möglich. Zudem können mehrere analoge Multicore mit vielen Einzelkanälen zu einem leichten dünnen Kabel zusammengefasst werden. Weiterhin haben Stromleitungen keinen Störeinfluss auf ein digitales Signal und können direkt neben den digitalen Signalleitungen verlegt werden. Bei der Verwendung von digitalen Leitungen können unterschiedliche Stromkreise verwendet werden, da ein Ausgleich unterschiedlicher Potenziale nicht erfolgt. Diese Eigenschaft ermöglicht beispielsweise eine digitale Signalübertragung in verschiedene Räume oder Gebäude. Jedoch weisen auch digitale Netzwerke einige Nachteile auf. Der größte Nachteil ist die Übertragung vieler Kanäle in einem Kabel. Denn zeigt dieses Kabel einen Defekt auf, gehen alle Signale verloren. Im analogen Bereich würden hingegen nur einige wenige Kanäle fehlen. Weiterhin müssen die Geräte für die Signalverteilung und Signalwandlung konfiguriert und vor allem synchronisiert werden. Für den Aufbau vieler digitaler Systeme ist ein gewisses Maß an Fachkenntnis auf dem Gebiet der Informationstechnik erforderlich. Nachteilig sind auch teilweise die Verzögerung der Signale durch Wandlung und Übertragung, wenn die Übertragungskapazitäten nicht ausreichend sind. Um einem Systemausfall bzw. einem defektem Kabel vorzubeugen, wurden Redundanzlösungen entwickelt, welche in den Anfangszeiten durch Netzwerktechnik aus der Informationstechnik realisiert wurden. Auch die Konfiguration und Steuerung der Geräte wurden durch weitere Entwicklungen verbessert. Dafür werden neben den Audiosignalen auch weitere Daten übermittelt. Einige Firmen nutzen für die Steuerung beispielsweise digitale Steuerdaten, welche mit dem Standard Musical Instrument Digital Interface, kurz MIDI realisiert werden. MIDI ist ursprünglich für die Steuerung von Musikinstrumenten entwickelt worden. Später wurde MIDI auch in Verbindung mit Computern zur Produktion von Musik verwendet. Dieses herstellerübergreifende Steuerprinzip wurde nun auch im Bereich der digitalen Audionetze zur Gerätesteuerung eingesetzt. Um die Konfiguration der Netzwerke weiter zu erleichtern und die Möglichkeit von einfachem Signalarouting zu ermöglichen, wurden Softwarelösungen für Computer entwickelt. Dadurch können alle Geräte von einer zentralen Stelle aus bedient und überwacht werden. Die Verbindung zwischen einem Gerät des digitalen Netzes und dem Computer erfolgt oft mittels Universal Serial Bus, kurz USB. Alternativ kann die Verbindung über ein Netzkabel aufgebaut werden. Die Wahl der Verbindung hängt vom Hersteller des Netzes ab.

Die digitalen Audionetze, welche auf Ethernet basieren und dementsprechend Ethernet kompatible Protokolle verwenden, besitzen den Vorteil, dass standardisierte Netzwerktechnik, wie Hubs und Switches, zur Verkabelung genutzt werden können. Da diese Geräte hohe Produktionszahlen aufweisen, sind sie in der Anschaffung meistens recht günstig im Vergleich zu herstellereigenen Geräten. Weiterhin ist die Nutzung vor-

handener Netzwerkstrukturen möglich. Dadurch vereinfacht und vergünstigt sich der Aufbau eines „Audio-over-Ethernet“ Netzwerks.

In der digitalen Welt der Audionetze gibt es derzeit noch keine „Allround“-Lösung auf die alle Hersteller zurückgreifen können. Vielmehr werden zukünftig viele weitere Netzwerklösungen auf dem Markt auftauchen. Einige der Netzwerke erhalten von der Audio Engineering Society, kurz AES, eine Zertifizierung. Auf Grundlage dieser Zertifizierung können die Netzwerklösung herstellerübergreifend eingesetzt werden. Die bedeutet, dass verschiedene Hersteller ein gemeinsames Netzwerk nutzen. Größtenteils werden die Netzwerke auf Ethernet-Verbindungen basieren, da sich diese Kommunikationstechnik seit Jahren bewährt. Dennoch arbeiten nicht alle Hersteller mit dieser Technik. Mittlerweile existieren viele Netzwerke. Damit die verschiedenen Hersteller digitaler Audionetze zukünftig sich an einem offenen Standard orientieren können und miteinander arbeiten, kümmern sich Momentan die AVnu Alliance, ein Industrieforum aus rund 40 Herstellern, und die OCA, Open Control Architecture, um eine möglichst hohe Kompatibilität der verschiedenen Systeme. Unternehmen, wie Bosch Communications Systems, PreSonus, d&b audiotechnik, Loud Technologies Inc. und Yamaha Corporation, gehören zu der 2011 gegründeten OCA. Das Ziel der beiden Verbände ist es, eine einheitliche Kontroll-Protokollarchitektur, sowie Festlegungen über den Aufbau der Signalstruktur als Grundlage für die weiteren Entwicklungen zu legen. Sie versuchen weiterhin wichtige Eigenschaften, welche ein Netzwerk beinhalten soll, fest zu legen. Derzeit sind einige Mitglieder der AVnu Alliance bestrebt, bei der Entwicklung neuer Produkte diese bisher entwickelten Anforderungen umzusetzen. Diese Anforderungen werden unter dem Namen Audio Video Bridging, kurz AVB, festgeschrieben.<sup>1</sup>

Diese Arbeit befasst sich mit Frage, welche Audionetze derzeit auf dem Markt existieren. Weiterhin soll Entwicklung im Bezug auf Vor- und Nachteile ältere Systeme erläutert werden. Im letzten Teil der Arbeit ist die Frage zu klären, welche Netzwerke zukünftig eine Rolle in der Wirtschaft spielen werden.

In den folgenden Kapiteln werden eine Reihe digitaler Audionetze hinsichtlich des Aufbaus und ihrer Funktionsweise untersucht. Weiterhin werden Anwendungsbeispiele der Netzwerke vorgestellt, die die Funktion und Arbeitsweise verdeutlichen. Berücksichtigt werden in dieser Arbeit nur Netzwerke, welche bereits veröffentlicht und von Herstellern verwendet werden. Als erstes wird das herstellereigene Netzwerk Aviom

---

<sup>1</sup> Production Partner 3/2012 S. 118 f.

<sup>2</sup> Aviom Inc. – Herstellerwebseite: <http://www.aviom.com/AviomApplications/AudioNetworks/Basics.php>  
[Stand: 12. Juni 2013]

<sup>3</sup> Webseite Aviom Inc – URL: <http://www.aviom.com/AviomProducts/Partner-Products.php> Stand: 12. Juni

Pro64 vorgestellt. Im Anschluss befasst sich diese Arbeit mit einem der ersten digitalen Audionetzwerke, dem Netzwerk CobraNet. Danach wird das Audionetzwerk Dante, welches ein relativ junges Netzwerk ist, beschrieben. Anschließend erfolgt die Beschreibung des Netzwerks EtherSound, welches ebenfalls ein herstellereigenes System ist. Im Anschluss an EtherSound folgen Informationen über das Netzwerk Multichannel Audio Digital Interface, welches von der AES als AES10 zertifiziert wurde. Danach wird in dieser Arbeit das optische Audionetz OPTOCORE beschrieben, welches das Netzwerk mit der geringsten Verzögerung ist. Als nächstes wird das jüngste digitale Netzwerk, das Audionetz Ravenna, erläutert. Dieses Netzwerk kann von Herstellern ohne eine Lizenz genutzt werden. Das letzte Audionetzwerk dieser Arbeit, welches zu gleich eines der bekanntesten Netzwerke ist, ist RockNet von der Firma Riedel. Im Anschluss folgt eine Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften aller vorgestellter Netzwerke, das Fazit und ein Ausblick auf den Bereich der digitalen Audionetzwerke und deren Kompatibilität.

## 2 Aviom Pro64

### 2.1 Einleitung

Das Audionetzwerk Aviom Pro64 arbeitet hauptsächlich mit dem Protokoll A-Net und gehört in die Rubrik „Audio over Ethernet“. Die Veröffentlichung erfolgte im Jahr 2008. In dem Jahr gewann Aviom mit diesem Netzwerk den Preis „Sound System Technology“ der Frankfurter Fachmesse Prolight + Sound. Das Netzwerk Pro64 ist ein herstellereigenes Netzwerk und kann ausschließlich mit Komponenten der Firma Aviom betrieben. Es verfügt über eine maximale Kanalzahl von 64 pro Netzwerk bzw. Subnetzwerk. Ein Subnetzwerk umfasst alle Geräte, welche mittels Daisy-Chain verbunden sind und dessen Leitung an einem Netzwerkhub endet. Diese Zahl beinhaltet alle Eingangs- und Ausgangskanäle des Netzwerkes. Weiterhin stehen in dem Signalstrom weitere 14 Kanäle für Steuerdaten zur Verfügung. Zu dem bidirektionalem Signalaus-tauschen können verschiedene Steuerdaten wie, MIDI, RS232, RS485 oder GPIO übertragen werden. Die Verteilung der Signale kann an diverse Positionen erfolgen. Jedoch stehen an den Positionen immer mindestens 16 Kanäle bereit, da die Eingangs- und Ausgangsmodule des Systems mit 16 Einheiten bestückt sind. Eine Ausnahme bildet jedoch das F6 Modular I/O Frame. Diese Komponente verfügt über 6 Einzelmodule mit jeweils 4 Ein- oder Ausgängen. Alle anderen Ein- und Ausgangskomponenten verfügen jeweils über 16 analoge XLR oder digitale AES/EBU – BNC Steckverbindungen. Weiterhin verfügen alle Einheiten über 2 Netzwerkschnittstellen „RJ45“. Zudem besitzen nahe zu alle Aviom Pro64 Komponenten einen MIDI und RS232 Steckplatz. Die digitale Signalverteilung erfolgt über die Netzwerkhub Aviom Merger Hub MH10 oder MH10f. Beide Geräte besitzen 10 Netzwerkschnittstellen vom Typ „RJ45“. Bei der Komponente MH10f sind allerdings die Schnittstellen 9 und 10 als Glasfaserverbindung „Small Form-factor Pluggable“, kurz „SFP“, ausgeführt. Der Aufbau und Einrichtung des Netzwerks kann ohne die Benutzung eines Computers geschehen. Außerdem verfügen nahezu alle die Geräte über 2 RJ45 Schnittstellen zur Einbindung in das Netzwerk. Dadurch ist der Aufbau an keine feste Topologie gebunden und frei wählbar. Die Fernsteuerung der Komponenten kann mittels Mischpult, aber auch über eine von Aviom entwickelte Fernsteuerung erfolgen. Weiterhin können diese und andere Einstellungen über eine Software vorgenommen werden.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Aviom Inc. – Herstellerwebseite: <http://www.aviom.com/AviomApplications/AudioNetworks/Basics.php>  
[Stand: 12. Juni 2013]

Derzeit kann das Netzwerk Pro64 nur direkt mit den Mischpulten der Yamaha Produkt-Familie über einen Mini-YGDAI verbunden werden. Beispielsweise Mischpulte der Firmen Avid, DiGiCO, Soundcraft und Tascam können das Protokoll A-Net nur in Verbindung mit Aviom Pro16 nutzen. Das Netzwerk Aviom Pro16 ist eine abgespeckte Version des Pro64. Beide Netzwerke können aber mit Hilfe des Gerätes Aviom A-Net Systems Interface mit einander arbeiten und Signale in beide Richtungen übergeben.<sup>3, 4</sup>

## 2.2 Technische Merkmale

### Topologie

Für den Aufbau von Aviom Pro64 ist keine feste Topologie fest gelegt. Die Geräte können somit in verschiedenen Kombinationen aufgebaut werden unabhängig von der späteren Kanalkonfiguration. Mit Hilfe der 2 verfügbaren RJ45 Schnittstellen ist es möglich, die Topologien Daisy-Chain und Stern mit einander zumischen. Unter Verwendung der Aviom Netzwerkhub, ist der Aufbau eines redundanten Netzwerks möglich. Dieser Aufbau mittels Sterntopologie ermöglicht, dass das Netzwerk Ausfall sicher wird. Obwohl die Übertragungstechnologie A-Net des Netzwerks Pro64 zu dem Bereich „Audio-over-Ethernet“ zählt und die klassischen Ethernet-Strukturen nutzt, besitzt es einen speziell entwickelten Aufbau und ist mit normalen Netzwerkkomponenten nicht kompatibel. Dadurch kann es nicht in vorhandene Netzwerkstrukturen eingebunden werden. In einem Subnetzwerk können bis zu 4 Eingabegeräte nacheinander angeschlossen werden ohne das Audiodaten überschrieben werden. Diese Begrenzung ist auf die maximal mögliche Kanalzahl zurück zu führen. Die Anzahl der Ausgabe ist hingegen in einem Subnetzwerk unbegrenzt. Die maximale Kabellänge zwischen den Geräten ist auf 120m bzw. 150m begrenzt. Übertragungswege von bis zu 2km (Multimode) bzw. 50km (Singlemode) können mittels Glasfaser zwischen den Netzwerkhub Aviom MH10f realisiert werden. Die nachfolgende Grafik stellt einen beispielhaften Aufbau des Netzwerks Aviom Pro64 unter Verwendung typischer Komponenten dar.<sup>5, 6</sup>

---

<sup>3</sup> Webseite Aviom Inc – URL: <http://www.aviom.com/AviomProducts/Partner-Products.php> Stand: 12. Juni 2013]

<sup>4</sup> Webseite Aviom Inc – URL: <http://www.aviom.com/Aviom-Products-5/Network-Devices-26/ASI-A-Net-Systems-Interface> [Stand: 12. Juni 2013]

<sup>5</sup> Aviom Inc. – A-Net v. Ethernet - Networking Designed for Audio S. 1 f.

<sup>6</sup> Aviom Inc. – Handbuch MH10 & MH10f S. 28



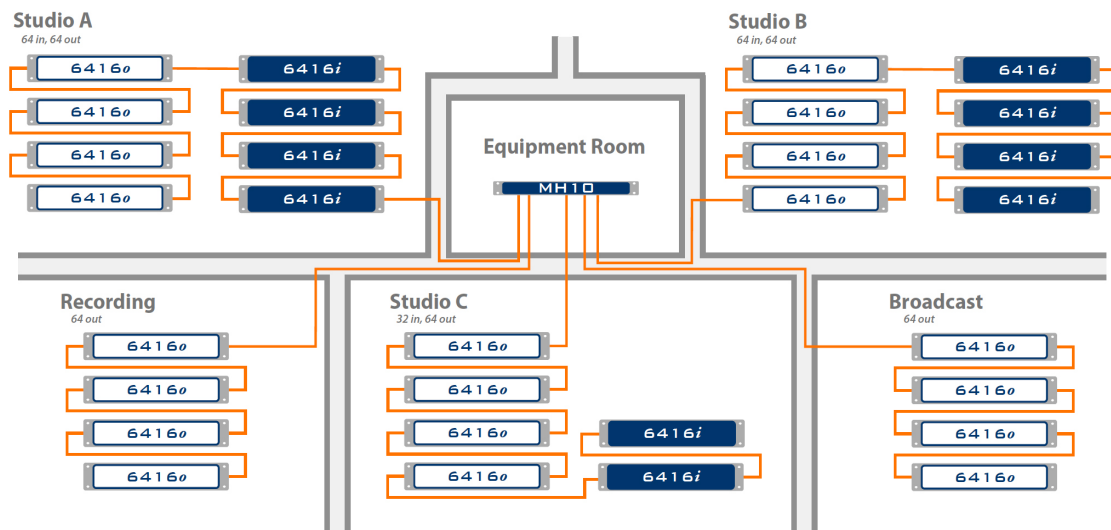


Abbildung 1: Aufbau Aviom Pro64

## Latenz und Synchronisation

Die Gerätesynchronisierung erfolgt durch eine Systemclock, welche durch den Gerätemaster im Netzwerk erstellt und verteilt wird. Pro Netzwerk ist nur ein Master erlaubt, da es sonst zu Konflikten innerhalb des Netzwerks kommt. Welches Gerät jedoch die Funktion des Masters übernimmt, ist frei wählbar. Die Auswahl des Masters erfolgt über einen DIP-Schalter am jeweiligen Gerät. Neben der netzwerkeigenen Synchronisation, besteht die Möglichkeit das Netzwerk durch einen externen Takt zu synchronisieren. Dieser wird mittels BNC-Wordclock Eingang an das Netzwerk übergeben. Eine Wordclock Schnittstelle bietet beispielsweise das Gerät Aviom 6416dio. Da dieses Gerät AES/EBU Signale in das Pro64 Netzwerk integriert, kann ein Taktsignal auch über diesen Weg an das Netzwerk zur Synchronisation übergeben werden. Wichtig ist dabei, dass dieses Gerät im Netzwerk als Master fungiert und die Clock in den Datenstrom implementiert. Prinzipiell unterstützt das Netzwerk Abtastfrequenzen zwischen 44,1kHz und 192kHz in den standardisierten Schritten. Außerdem ist eine Abweichung um -10% bis +7% der jeweiligen Frequenz möglich. Jedoch unterstützen nicht alle Geräte den gesamten Bereich der einstellbaren Frequenzen. Die Einschubkarte 6416Y2 für Yamaha Mischpulte unterstützt beispielsweise nur die Abtastfrequenzen zwischen 44,1kHz und 96kHz.<sup>7 8 9</sup>

<sup>7</sup> Aviom Inc. – Managing Jitter, Wander, and Latency in Digital Audio Networks S.1 f.

<sup>8</sup> Aviom Inc. – Datenblatt Aviom 6416dio S. 1 f.

<sup>9</sup> Aviom Inc. – Datenblatt Aviom 6416Y2 S. 1

Alle Komponenten der Firma Aviom, welche für das Netzwerk Pro64 entwickelt wurden, besitzen eine geringe Latenz. Die Übertragung eines Signals vom analogen Eingang bis zum analogen Ausgang benötigt weniger als 800µs. Bei der Verwendung eines Netzwerkhub werden die Signale durch das interne Routing um maximal 420µs verzögert. Die Signalübertragung zwischen den Netzwerken Pro64 und Pro16 benötigt vom analogen Signal im Pro64 bis zur analogen Signalausgabe im Netzwerk Pro16 inkl. Konvertierung weniger als 1ms. Auf Grund dieser geringen Latenz, gelten beide Netzwerke als echtzeitfähig und können im Live-Bereich unter Verwendung von Komponenten der Firma Aviom eingesetzt werden.<sup>10, 11</sup>

## Konfiguration und Routing

Die Einstellungen der Gerätekonfigurationen können 2 Wege vorgenommen werden. Die eindeutige Adressierung der Komponenten erfolgt durch die Vergabe von Identifikationsnummern, kurz ID. Diese IDs werden durch den Master im Netzwerk vergeben. Die Zuordnung von IP-Adressen erfolgt in diesem Netzwerk nicht. Nach erfolgreicher Zuordnung ist das Netzwerk einsatzbereit. Ist es notwendig, die automatische Zuteilung der IDs zu ändern, kann Dies direkt am jeweiligen Gerät oder durch eine Konfigurationssoftware erfolgen. Weiterhin müssen den Eingabe- und Ausgabegeräten, welche nur 16 der verfügbaren 64 Kanäle nutzen, eine der 4 möglichen Kanalbänke zugeordnet werden. Damit wird der Block bestimmt, in welchen die Eingangssignale eingebettet bzw. die Ausgangssignale abgegriffen werden. Wird in einem Subnetz ein Block doppelt vergeben, werden die vorherigen Signale überschrieben. Der ausgewählte Block wird in Form der ersten Kanalnummer des Blockes angegeben. Beispielsweise beginnt der Block 2 mit dem Kanal 17. Somit wird am Gerät die 17 angezeigt. Die nächste Grafik zeigt die Zuordnung der Blöcke zu den Kanälen.<sup>12</sup>

Starting Slot Displayed	A-Net Slot Range
01	Slots 1-16
17	Slots 17-32
33	Slots 33-48
49	Slots 49-64

*Tabelle 1: Zuordnung A-NET Slot Nummer zu den verwendeten Kanälen*

---

<sup>10</sup> Aviom Inc. – v A Closer Look at A-Net

<sup>11</sup> Aviom Inc. – Handbuch MH10 & MH10f S. 28

<sup>12</sup> Webseite Aviom Inc. – URL: <http://www.aviom.com/AviomApplications/AudioNetworks/Design.php>  
[Stand:12. Jul 2013]

Ist die Zuordnung einzelner Kanäle oder Kanalgruppen innerhalb eines Blocks notwendig, müssen weitere Einstellungen vorgenommen werden. Die jeweiligen Geräte müssen dabei auf den selben Slot eingestellt werden. Anschließend wird am Gerät der Beginn der Range korrigiert. Die Range des ersten Geräts wird nicht verändert. Beim zweiten Gerät ist es notwendig, den ersten Kanal der Range so weit zu erhöhen, wie Kanäle aus dem ersten Gerät übermittelt werden sollen. Sollen beispielsweise die ersten 3 Kanäle des ersten Geräts übertragen werden, beginnt die Range des zweiten Geräts mit der Kanalnummer 4. Diese Vorgehensweise muss nun bei allen anderen beteiligten Geräten vorgenommen werden. Zu beachten gibt es, dass die verwendeten Kanäle eines Geräts nur zusammenhängend und von dem ersten physischen Kanal aus verfügbar sind. Die anschließende Abbildung erläutert die Bildung der Kanalgruppen.<sup>13</sup>

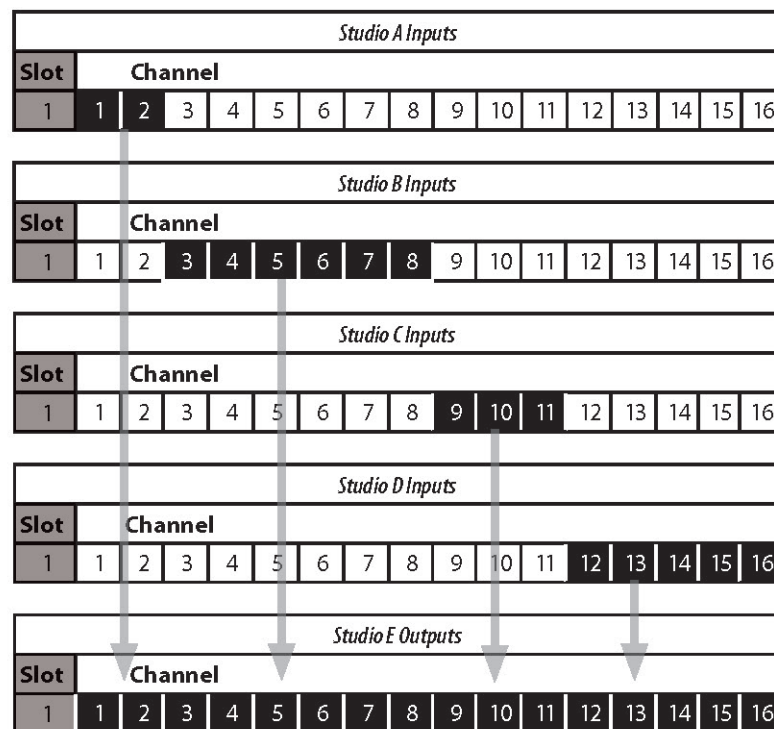


Abbildung 2: Kanalgruppenzuordnung von 4 Geräten innerhalb eines Blocks

Das Routing von Kanälen über ein Subnetz hinaus erfolgt durch den Netzwerkhub MH10 oder MH10f. Dabei können die Subnetzwerke über 3 verschiedene Methoden zusammengefasst und neu verteilt werden. Methode A fasst alle Eingangssignale zusammen und gibt diese gebündelt an allen Geräteanschlüssen aus. Somit sind alle

<sup>13</sup> Aviom Inc. – Handbuch 6416i S. 13 ff.

Eingangssignale in jedem angeschlossenen Subnetzwerk verfügbar. Damit keine Kanäle überschrieben werden, sollte keins der angeschlossenen Eingangsgeräte einen Block doppelt benutzen. Ist es notwendig, ein vollständig ausgebautes Subnetzwerk auf mehrere Ausgänge zu verteilen oder mehrere Teilnetzwerke nur zusammengefasst aus einem Ausgang zu legen, findet die Konfigurationseinstellung B Anwendung. Ein Anwendungsbeispiel dieser Konfiguration zeigt die nachfolgende Grafik. Mit Hilfe der Konfiguration im Modus C können redundante Netzwerke aufgebaut werden. Außerdem können damit vollständige Signalströme gesplittet und an verschiedene Positionen übertragen werden.<sup>14</sup>

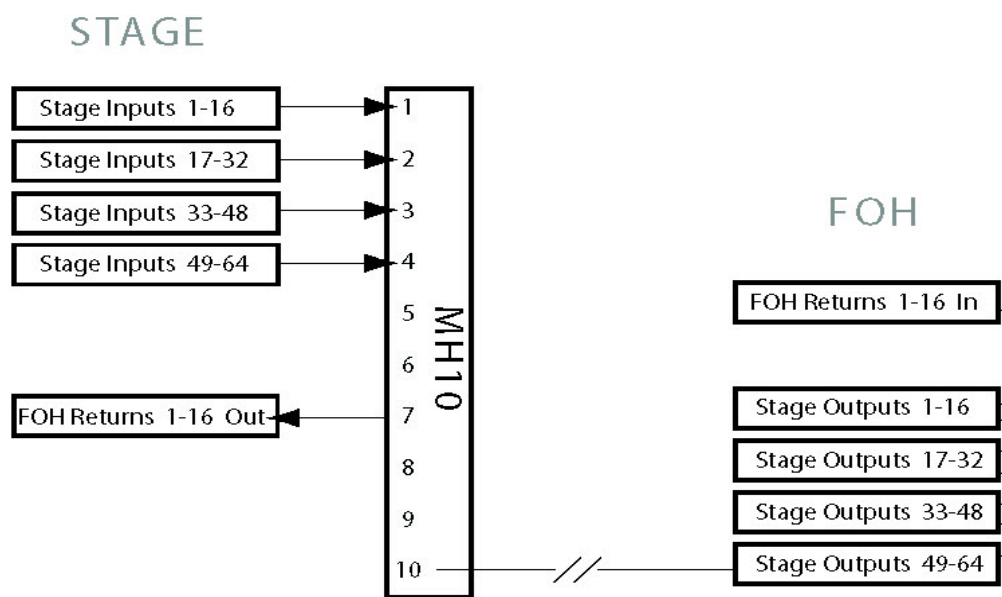


Abbildung 3: Anwendungsbeispiel MH10 im Konfigurationsmodus B

Das Netzwerk kann zudem mittels Software Pro64 Network Manager konfiguriert werden. Um die Software nutzen zu können, muss der Computer mittels RS232 oder USB mit einem Gerät im Netzwerk verbunden sein. Dieses Gerät muss jedoch dann jedoch die Funktion als Master übernehmen. Die Software bietet dann einen Überblick über das Netzwerk und die angeschlossenen Geräte, die jeweils genutzte Kanalbank sowie den Gerätestatus. Über die Software können die globalen Netzwerkeinstellung und die einzelnen Gerät konfiguriert werden. Weiterhin verfügt die Anwendung über einen Audio Manager, welche das Routing einzelner Kanäle ermöglicht. Müssen Einstellung des gesamten Netzwerks schnell geändert werden, können die Einstellung in mehreren Szenen angelegt und später durch wenige Klicks geladen werden. Firmwareupdates

<sup>14</sup> Aviom Inc. – Handbuch MH10 & MH10f S. 19 ff.

der einzelnen Geräte können ebenfalls mit der Software durchgeführt werden. Einen Überblick der Software Pro64 Network Manager bietet die nächste Abbildung.<sup>15</sup>

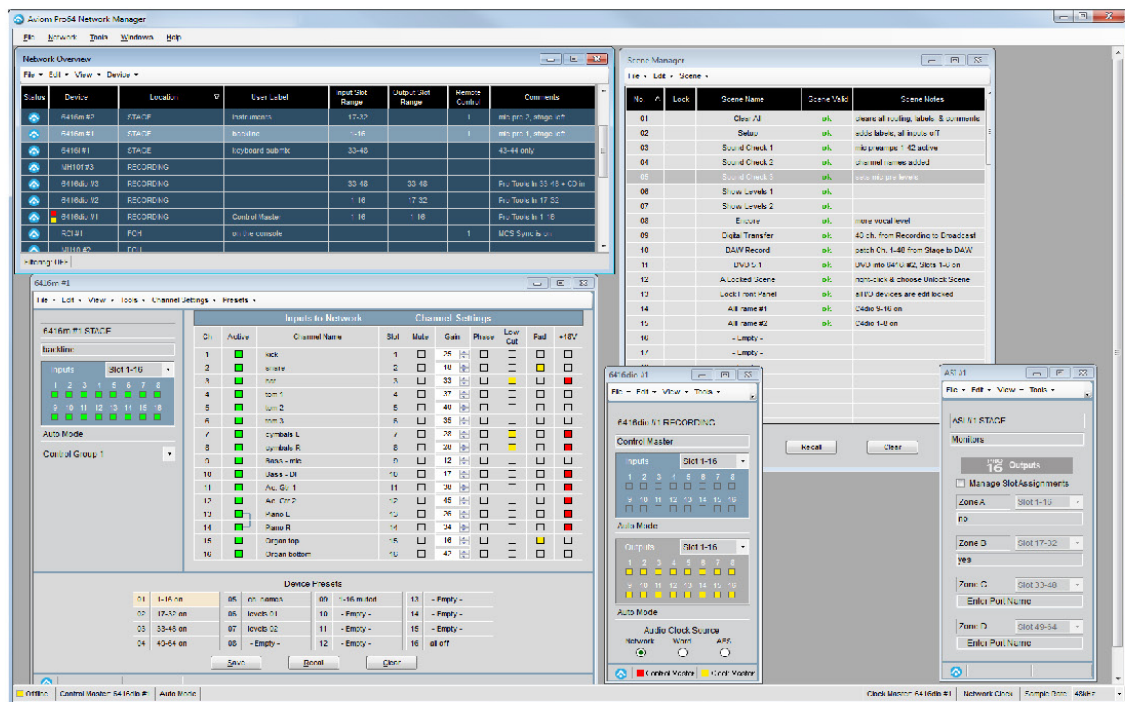


Abbildung 4: Überblick Aviom Pro64 Network Manager

<sup>15</sup> Aviom Inc. – Handbuch Pro64 Network Manager S. 3 ff.

## 2.3 Anwendung von Aviom Pro64

Das Netzwerk Pro64 wird fast ausschließlich von der Firma Aviom in Zusammenarbeit mit Mischpulten der Firma Yamaha verwendet. Die Nutzung von Pro64 mit anderen Mischpulten weiterer Hersteller ist derzeit nicht möglich, da es für diese Geräte keine Schnittstellen bzw. Einschubkarten für die jeweiligen Systeme gibt. Jedoch bietet die Firma Aviom ebenfalls kleine Mischpulte an. Lediglich unter Verwendung des Netzwerks Pro16 können Mischpulte anderer Hersteller in ein Netzwerk eingebunden werden. Die Verbindung zwischen den Netzen Pro64 und Pro16 geschieht mittels Konverter Aviom ASI. Die Firma NEP Broadcasting ist beispielsweise ein Anwender des Netzwerks Aviom Pro64. Das Unternehmen nutzt das Netzwerk im Bereich Rundfunk zur Live-Übertragung von z.B. Sportveranstaltungen. Das Unternehmen rüstete ein Fahrzeug mit Übertragungs- und Netzwerktechnik aus. Die Signale im Veranstaltungsraum werden über A/D-Wandler an einen Netzwerkhub übergeben. Über diesen Hub werden auch die Rückkanäle vom Fahrzeug in den Raum übertragen. Dieser Hub ist weiterhin über eine Glasfaserleitung mit dem Fahrzeug verbunden. Im Fahrzeug befindet sich neben Ein- und Ausgabekomponenten auch eine Fernbedienung für die Geräte im Veranstaltungsraum.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Aviom Inc. – NEP\_Case Study „Pro64 Audio Network on the Road with NEP Broadcasting“

## 3 CobraNet

### 3.1 Einleitung

Das Audionetzwerk CobraNet wurde ursprünglich von der Firma Peak-Audio entwickelt. Seit 2001 wurde Peak-Audio von der Firma Cirrus Logic übernommen. Die Veröffentlichung des Audionetzwerks geschah 1996. Kommerziell wurde das Netzwerk erstmals 1997 beim „Super Bowl XXXI“ eingesetzt. CobraNet gehört, neben Dante, RockNet usw., ebenfalls zur Kategorie „Audio-over-Ethernet“. Auf Grund seiner frühen Entwicklung, wird CobraNet als eines der ersten kommerziell nutzbaren „Audio-over-Ethernet“ gesehen. Wegen hohen Latenzzeiten zwischen 2 Geräten von mehreren Millisekunden ist das Audionetzwerk kein Echtzeitnetzwerk. Dennoch bieten über 50 Hersteller eine Schnittstelle zwischen ihren Systemen und CobraNet an. Dazu gehört neben Yamaha und Soundcraft die Firma Klar Technik. Die verschiedenen Geräte eines CobraNet Netzwerks werden mittels Standardnetzwerkkabel Category 5, kurz Cat. 5, bei einer Bandbreite von 100Mbit/s verbunden. Die Übertragung über größere Distanzen geschieht über Glasfaserleitungen. Eine Übertragung der Signale direkt über eine Internetverbindung ist nicht möglich. Bei der Nutzung mehrerer Geräte werden diese sternförmig über normale Netzwerkschaltze angeschlossen.<sup>17, 18</sup>

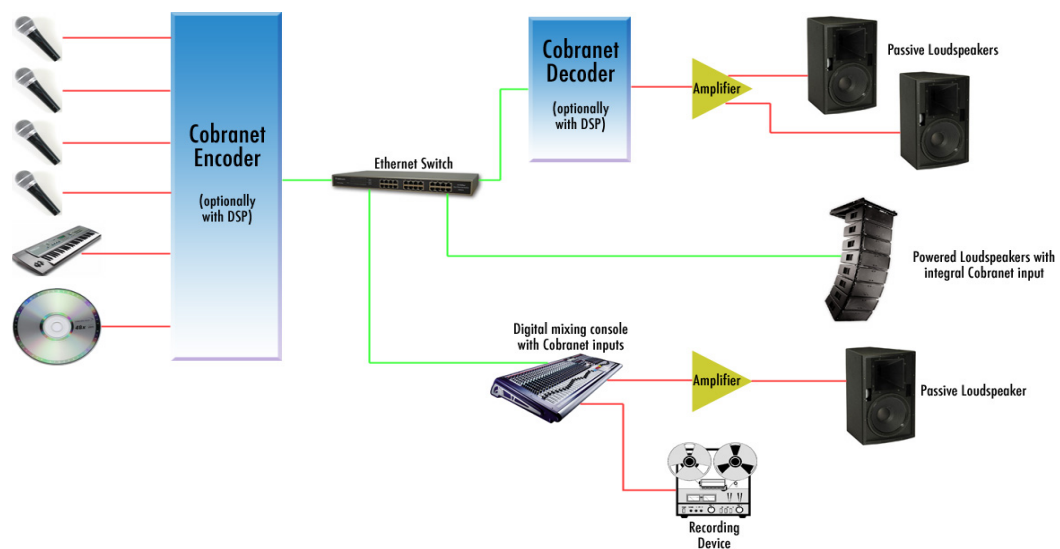


Abbildung 5: Blockbild CobraNet

<sup>17</sup> Webseite CobraNet – URL: <http://www.cobranet.info/technology/faq> [Stand: 10. Jul 2013]

<sup>18</sup> Arrakis Systems inc. – Archiv URL: <http://web.archive.org/web/20111009111558/http://www.arrakis-systems.com/pdfs/aarcnetbrochure.pdf> [Stand: 11. Jul 2013]

Bidirektional können pro Signalleitung 64 Hin- und Rückkanäle übermittelt werden. Diese Kanalzahlen stehen bei einer Abtastfrequenz von 48 kHz und einer Abtastrate von 20 Bit zur Verfügung. Bei höherer Abtastrate und –frequenz verringern sich die zur Verfügung stehenden Kanäle. Neben den Audiodaten können Steuersignale, wie RS-232 und MIDI zwischen den Geräten übertragen werden. Die Übertragung mehrerer Kanäle von einem Gerät zu einem anderen Gerät erfolgt in sogenannten Bundles (Bündeln) in Form eines „Unicast“. Werden bestimmte Kanäle eines Geräts an alle anderen Geräte übermittelt, erfolgt dies in einem „Multicast“. Das Routing der Bundles erfolgt über eine Konfigurationssoftware am Computer. Mittels dieser Bundle ist es möglich den Datenstrom im Netzwerk zu beeinflussen und zu steuern. Je weniger Kanäle in einem Bundle gebunden sind, desto geringer ist der Datenstrom. Weiterhin verfügen die Geräte über eine zweite Netzwerkschnittstelle, welche für die Redundanz des Netzwerks zuständig ist.<sup>19, 20</sup>

## 3.2 Technische Merkmale

### Topologie

CobraNet nutzt für eine Signalverteilung u.a. die Topologie Stern. Es ist dadurch möglich, das Audionetzwerk in eine bestehende Infrastruktur zu integrieren. Außerdem kann damit ein redundantes Netzwerk unter Verwendung der zweiten Netzwerkschnittstelle aufgebaut werden. Bei dieser Topologie können im laufenden Betrieb weitere Komponenten eingefügt werden, ohne das Netzwerkfehler oder Ausfälle entstehen. Die Möglichkeit 2 Geräte über eine Peer-to-Peer Verbindung zu verknüpfen besteht auch. Eine redundante Verkabelung nach dem Verfahren „Trunking“ ist zusätzlich realisierbar. Die anschließende Grafik zeigt den Aufbau der eben beschriebenen Topologie.<sup>21</sup>

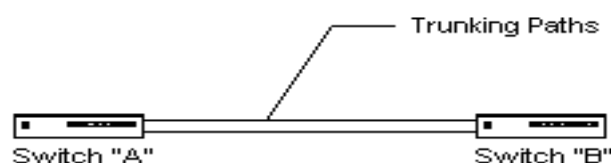


Abbildung 6: Schema Topologie Peer-to-Peer inkl. Redundanz

<sup>19</sup> Webseite CobraNet – URL: <http://www.cobranet.info/technology/faq> [Stand: 2. Jul 2013]

<sup>20</sup> Vortrag PIK AG – „Audionetzwerke in Vergleich“ 2012 - Videomitschnitt

<sup>21</sup> Webseite CobraNet – URL: [http://www.cobranet.info/support/design/switched\\_networks](http://www.cobranet.info/support/design/switched_networks) [Stand: 3. Jul 2013]



Weiterhin kann mittels CobraNet die Topologie Ring unter Verwendung von „Spanning tree“ verwendet werden. Die Geräte werden nacheinander und das letzte Gerät mit dem ersten Gerät verbunden. Damit keine Signalechos im Netzwerk auftreten, findet die Funktion „Spanning tree“ Anwendung. Die Arbeitsweise der Funktion „Spanning tree“ wird im Kapitel 5.2 im Abschnitt „Topologien des Netzwerks“ beschrieben.<sup>22</sup>

### **Latenz und Synchronisation**

Die Synchronisierung des Netzwerks kann über verschiedene Wege erfolgen. Der erste Weg ist die Erzeugung der Clock über ein internes Modul, welche dann mit dem Datenstrom an die anderen Teilnehmer übertragen wird. Diese Methode wird normalerweise in einem CobraNet Netzwerk verwendet. Die Erzeugung der internen Clock kann mit einer externen Sample-Synchronisation ergänzt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit alle Geräte extern mit einem Taktsignal, z.B. einem Haustakt, zu versorgen. Alle Geräte, welche über CobraNet den Takt erhalten, verfügen ebenfalls über die Möglichkeit, eine externe Sample-Synchronisation zu erhalten und zu verarbeiten. Intern erfolgt die Erzeugung der Clock mittels VCXO. CobraNet verfügt über Abtastfrequenzen von 48kHz und 96kHz.<sup>23</sup>

Die angegebenen Latenzzeiten von CobraNet sind sehr hoch und richten sich Großteils nach den Größen der verschickten Kanalbündel vom Sender zum Empfänger. Außerdem spielt die Anzahl der dazwischen liegenden Signalverteiler eine Rolle. Weiterhin besitzen die Geräte einen Datenpuffer, welcher auch die Latenzzeiten erhöht. Für eine Signalübertragung von einem analogen Signaleingang über CobraNet bis hin zur analogen Ausgabe benötigt das Netzwerk 256 Samples. Dies entspricht einer Zeit von rund 5ms. Auf Grund dieser hohen Latenz ist CobraNet kein Echtzeitnetzwerk.<sup>24</sup>

### **Konfiguration und Routing**

Die Adressierung der Geräte erfolgt durch die Verteilung von IP-Adressen. Dadurch ist eine eindeutige Zuordnung und Einstellung der Geräte möglich. Dabei wird der Adressbereich in 3 Teile eingeteilt. Der erste Bereich, welcher von Adresse 192.168.1.1 bis 192.168.1.199 umfasst, ist für alle CobraNet Geräte vorgesehen. Alle Netzwerkverteiler, welche eine IP benötigen, werden im zweiten Teil angesiedelt. Dafür sind die

---

<sup>22</sup> Webseite CobraNet – URL: [http://www.cobranet.info/support/design/switched\\_networks](http://www.cobranet.info/support/design/switched_networks) [Stand: 3. Jul 2013]

<sup>23</sup> CobraNet Clocking Modes S. 1 ff.

<sup>24</sup> Webseite CobraNet – URL: <http://www.cobranet.info/support/faq> [Stand: 4. Jul 2013]

Adressen von 192.168.1.200 bis 192.168.1.219 vorgesehen. Alle Computer befinden sich im Bereich 192.168.1.220 bis 192.168.1.254. Mittels Computer und der Software CobraCAD können diese Voreinstellung jedoch bearbeitet werden.<sup>25</sup>

In einem CobraNet Netzwerk werden die einzelnen Kanäle in verschiedenen große Bündel verpackt. Die Bündel können zwischen 1 Kanal bis hin zu 8 Kanälen enthalten. Diese Bündel werden dann an den entsprechenden Empfänger übertragen, welche vorher definiert wird. Die Erstellung der Bündel und die Zuordnung erfolgt durch die Software CobraCAD. Je größer diese Bündel sind, desto größer ist die Übertragungszeit.<sup>26</sup>

### 3.3 Anwendung von CobraNet

Das Hauptanwendungsgebiet von CobraNet liegt im Beschallungsbereich von Stadien, Kaufhäusern, Flughäfen und Freizeitparks. Dort ist eine Echtzeitübertragung der Signale nicht notwendig aber dafür sind lange Signalwege vorhanden. Da in diesen Gebäuden meist eine gut ausgebaute Netzwerkstruktur vorhanden ist, ist das Netzwerk CobraNet sehr gut dafür geeignet. Ein Beispiel für Anwendung ist das Wembley Stadium in London. Alle Beschallungspunkte des Stadions wurden mittels CobraNet vernetzt. Der Hauptring und der redundante Ring wurden mittels Glasfaser realisiert. Jeder Beschallungspunkt verfügt über einen Wandler, welcher das Signal aus Glasfaser in eine Netzwerkleitung Cat. 5 übersetzt. Diese Leitung ist mit einem CobraNet D/A-Wandler verbunden. Der Wandler verfügt wiederum über 8 analoge Ausgänge. Neben den Audiosignalen werden auch Steuerdaten zur Überwachung aller Geräte übertragen. Damit wurde die zentrale Steuerung und Überwachung der gesamten Anlage realisiert.<sup>27</sup>

---

<sup>25</sup> CobraNet Discovery User's Manual S.4 f.

<sup>26</sup> CobraNet Discovery User's Manual S.17 ff

<sup>27</sup> Webseite CobraNet – URL: <http://www.cobranet.info/community/installations/wembley> [Stand: 31. Jul 2013]

## 4 Dante

### 4.1 Einleitung

Das digitale Audionetzwerk Dante ist ein von der australischen Firma Audiodante entwickeltes und patentiertes System. Die Veröffentlichung geschah im Jahre 2006, damit ist Dante ein recht junges Netzwerk. Auf Grund seiner Topologie und Kapazität hat sich das Netzwerk jedoch bereits in vielen Bereichen etabliert. Derzeit nutzen über 25 Unternehmen eine Lizenz des Audionetzwerks, darunter sind auch namhafte Hersteller, wie Allen & Heath, Soundcraft und Yamaha. Dante gehört ebenfalls zur Kategorie der „Audio-over-Ethernet“-Netzwerke. Die einzelnen Komponenten werden mit Netzwerkleitungen Cat. 5e oder höher mittels RJ45-Stecker mit einander verbunden. Jedes Dante-fähige Gerät verfügt über 2 Netzwerkanschlüsse für eine redundante Vernetzung unter der Nutzung der Sterntopologie. Außerdem können die Komponenten nacheinander als Kette verbunden werden, wenn wenige Geräte in einem Netz verwendet werden. Bei dieser Variante steht keine Redundanz zur Verfügung.<sup>28</sup>

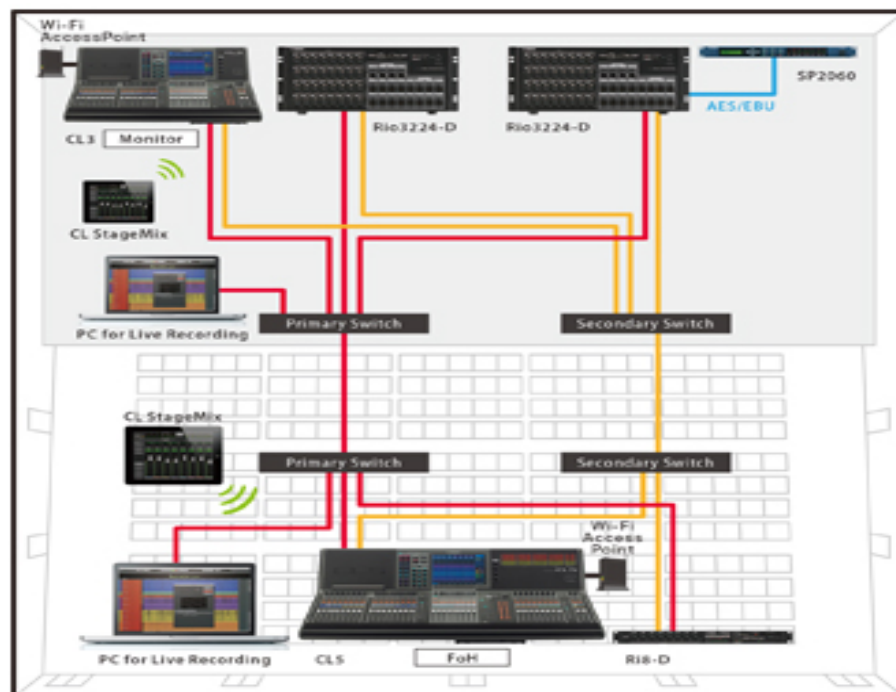


Abbildung 7: Aufbau eines Dante Netzwerks

<sup>28</sup> Production Partner Ausgabe 3/2012 S.122

Die vorangegangene Abbildung stellt eine Möglichkeit der Nutzung von Dante unter Verwendung von Geräten der Firma Yamaha dar. Die rote Linie beschreibt die primäre und die orange Linie die sekundäre Verbindung. Die verfügbare Kanalzahl wird durch die Geschwindigkeit des Netzwerkes geregelt. In einem 100 Megabitnetzwerk stehen 48 x 48 Kanäle zur Verfügung. 512 Hin- und 512 Rückkanäle sind in einem Netzwerk mit einer Geschwindigkeit von 1Gbit/s verfügbar. Die Übertragung der Signale erfolgt bi-direktional. Außerdem können beide Arten miteinander gemischt werden. Die jeweiligen Kanalzahlen beziehen sich auf eine Abtastfrequenz von 48kHz mit einer Abtastrate von 24bit, bei einer Abtastfrequenz von 96kHz halbieren sich die zur Verfügung stehenden Kanäle. Weiterhin werden bei den Angaben nur die gerouteten Kanäle, welche tatsächlich zu einem anderen Gerät übertragen werden, berücksichtigt. Physisch können daher mehr als 512 Kanäle in einem Gigabitnetzwerk zur Verfügung stehen, sobald mehrere Signalwege im Dantenetzwerk verfügbar sind. Die Latenzzeit des Netzwerkes ist ebenfalls vom Aufbau, der Länge und der Anzahl der Komponenten abhängig. Weiterhin misst das Netzwerk die Zeit, welche die Daten bis zum entferntesten Punkt braucht. Anschließend verzögert Dante nun alle Geräte, welche vorher im Netzwerk angesiedelt sind um diese „Mehrzeit“, damit alle Datensignale an jedem Ausgang die gleiche Latenz besitzen.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Webseite Audinate – URL:

[http://www.audinate.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=99&Itemid=155](http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=99&Itemid=155) [Stand: 25. Jun 2013]

## 4.2 Technische Merkmale

### Topologie

Es muss beim Aufbau des Audionetzwerks Dante keine feste Topologie berücksichtigt werden. Die Verbindung aller Geräte ist frei wählbar. Da alle Geräte in einem Dante Netzwerk über 2 Schnittstellen verfügen, können Verbindungen in den Topologien Daisy-Chain, Ring, Stern oder einer Mischung aufgebaut werden. Häufig wird die Topologie Stern unter Verwendung von Netzwerkverteilern verwendet. Durch den parallelen Aufbau zweier Netzwerke, steht beim Ausfall des Primären Netzwerks ein redundantes sekundäres Netz zur Verfügung. Somit verhindert man einen Datenverlust oder ganzen Systemausfall. Auf Grund der Technologie „Audio-over-Ethernet“ kann Dante auch in bestehende Netzwerkstrukturen integriert werden und diese Strukturen nutzen. Dabei legt Dante automatisch für die eigene Signalübertragung eine höhere Priorität fest und der restliche Datenverkehr wird „hinten an“ gestellt. Die nachfolgende Grafik stellt ein Dante Netzwerk unter Verwendung verschiedener Topologien dar.<sup>30</sup>

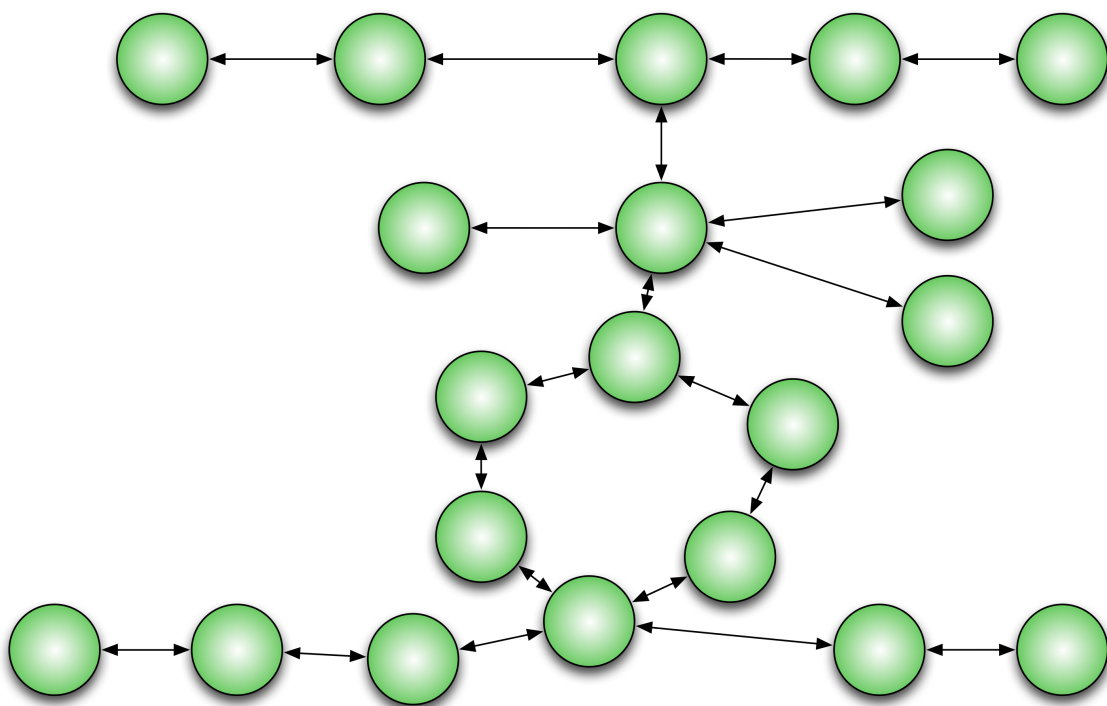


Abbildung 8: Topologieschema Dante

<sup>30</sup> Vortrag PIK AG – „Audionetzwerke in Vergleich“ 2012 - Videomitschnitt

## Latenz und Synchronisation

Dante ist ein Audionetzwerk, welches als Echtzeit-fähig gilt. Die angegebenen Zeiten sind sehr gering, richten sich aber jeweils nach der Größe des Netzwerks, die Anzahl der angeschlossenen Geräte, der verwendeten Abtastfrequenz und der Anzahl der zu übertragenen Audiokanäle. Weiterhin spielt die verfügbare Bandbreite des Netzwerks eine wichtige Rolle. Eine Übertragung zwischen 2 Dante Geräten benötigt 150µs. Die maximale Latenz für Dante wird mit weniger 1ms angegeben. Diese Zeit entsteht durch die Benutzung von 10 Netzwerkverteilern. Diese Verteiler sind hauptsächlich für die entstehende Latenz verantwortlich, da die Signale meist einige dieser Verteiler zwischen Signaleingang und -ausgang passieren. Bei der Verwendung von mehr als 10 Verteilern können auch Latenzzeiten von über 5ms entstehen. Mit dieser Latenz gilt das Netzwerk jedoch nicht mehr als Echtzeit-fähig. Weiterhin erhalten alle Dante Geräte über den Datenstrom einen Zeitstempel. Dadurch ist eine gleichzeitige Sample-genaue Ausspielung der Signale auf allen Geräten möglich. Dies bedeutet, dass die Signale am ersten Gerät erst ausgegeben werden, wenn diese auch am letzten angekommen und ausgespielt werden können. Dies verhindert eine Echobildung im Netzwerk.<sup>31, 32</sup>

Die Synchronisation des Dante-Netzwerks erfolgt durch das Netzwerk über den Signalstrom. Ein im Netzwerk befindliches Gerät, der Master, erzeugt ein Taktsignal, welches an alle Teilnehmer weiter gegeben wird. Das Taktsignal besitzt eine hohe Qualität und mittels Precision Time Protocol erstellt. Neben der internen Erzeugung durch VCXO Taktgenerator, kann der Master und damit das Netzwerk durch einen externen Takt synchronisiert werden. Dieser kann mittels BNC Wordclock Eingang oder AES/EBU an das Gerät übergeben werden. Sollte das Mastergerät ausfallen, übernimmt ein anderes Gerät im Netzwerk automatisch die Funktion des Masters. Die Auswahl des Masters erfolgt durch das Netzwerk. Soll ein anderes Gerät im Netzwerk diese Funktion übernehmen bzw. ist es nötig die Taktfrequenz zu ändern, müssen diese Einstellungen über einen Computer mit der Software Dante Controller vorgenommen werden. Dante unterstützt Abtastraten zwischen 44,1kHz und 192kHz in üblichen Abständen.<sup>33</sup>

---

<sup>31</sup> Dante – Audio Networks Past Present and Future S. 8

<sup>32</sup> Webseite Dante – URL:

[http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting\\_up\\_dante/latency/latency.htm](http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting_up_dante/latency/latency.htm) [Stand:25. Jun 2013]

<sup>33</sup> Webseite Dante – URL:

[http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting\\_up\\_dante/clocking/clocking.htm](http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting_up_dante/clocking/clocking.htm) [Stand: 26. Jun 2013]

## Konfiguration und Routing

Jedes Gerät im Netzwerk wird über eine eindeutige IP-Adresse adressiert. Durch die Nutzung der Layer-3-Technologie des OSI-Modells, kann neben der IP noch ein Name vergeben werden über Welchen die Geräte leichter zu identifizieren sind. Weiterhin können alle einzelnen Audiokanäle eine Bezeichnung erhalten und alle anderen Teilnehmer übermittelt werden. Die Vergabe der Adressen erfolgt in einem bestehenden Netzwerk durch einen Server oder Router, welcher mittels Dynamic Host Configuration Protocol, auch als DHCP bezeichnet, die Verteilung der IP-Adressen übernimmt. Steht ein solches Gerät nicht zur Verfügung, verteilt das Netzwerk selbständig und automatisch IP-Adressen an alle im Netzwerk befindlichen Geräte. Dies ist notwendig, da die IP die Grundlage für eine Kommunikation unter den Dante Geräten ist. Eine weitere Konfiguration der Geräte ist nicht notwendig. Während des Aufbaus des Netzwerks sollte jedoch auf die Bandbreite der verbauten Netzwerkverteiler geachtet werden. Diese bilden im Netzwerk die Engstelle und müssen über ausreichend Kapazität für eine reibungslose Übertragung verfügen. Die im Netzwerk befindlichen Geräte können zudem über die Software Dante Controller konfiguriert werden, sollten die automatischen Einstellungen nicht ausreichen. Mittels Software können beispielsweise die IP-Adresse, die Taktfrequenz, die Geräte- und Kanalbezeichnung vorgenommen werden.<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> Dante – Audio Networks Past Present and Future S. 7 f.

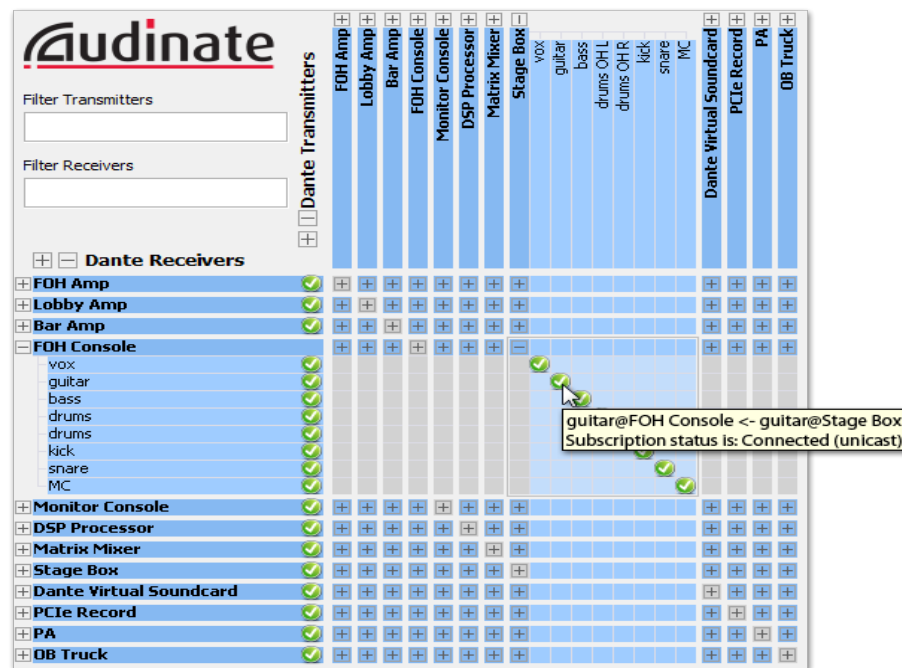


Abbildung 9: Kanalmatrix Dante Controller

Die vorangegangene Grafik zeigt den Startbildschirm der Software inkl. aller Geräte im Netzwerk. Die Einstellung für das Kanal-Routing erfolgt größtenteils ebenfalls über die Software Dante Controller. Jedoch können die Kanäle auch über Mischpulte, welche im Audionetzwerk eingebunden sind, zugeordnet werden. Die Zuordnung mittels Software erfolgt über eine Kanalmatrix, welche alle Geräte inkl. ihrer Ein- und Ausgänge übersichtlich darstellt. Dabei können einem Signaleingang mehrere Ausgänge aber jedem Ausgang nur ein Signal zugeordnet werden. Die zugeordneten Kanäle werden durch einen grünen Haken gekennzeichnet. Die Eingangskanäle können nicht direkt auf die Ausgangskanäle des gleichen Geräts geroutet werden.<sup>35</sup>

### Sonstige Merkmale

Die Firma Audinate ist einer der ersten Hersteller, welcher für sein Netzwerk die RJ45 Netzwerkschnittstelle eines Computers als Soundkarte und gleichzeitig als Controller nutzt. Für die Nutzung der Schnittstelle als Soundkarte ist lediglich eine Software Soundkarte inkl. Lizenz nötig. Diese Lizenz wird jeweils bei Kauf einer Hardware mit geliefert oder kann käuflich erworben werden. Soll der Computer als Gerät im Netz-

<sup>35</sup> Webseite Dante – URL:

[http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting\\_up\\_dante/routing/routing.htm](http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting_up_dante/routing/routing.htm) [Stand: 26. Jun 2013]



werk verfügbar sein und als Zuspieler genutzt werden, muss er allerdings in das primäre Netzwerk eingebunden sein. Neben der Funktion als Zuspieler, können mit dieser Soundkarte und jeder verfügbaren Aufnahmesoftware bis zu 512 Audiokanäle aufzeichnet werden.<sup>36</sup>

Zur Sicherstellung der benötigten Bandbreite des Netzwerks Dante, verfügt es über die Funktion „Quality of Service“, kurz QoS. Mit Hilfe dieser Funktion können die im Netzwerk eingebunden Verteiler gesteuert werden. Die durch Dante versendeten Datenpakete erhalten eine höhere Priorität im Vergleich zum restlichen Datenverkehr. Dadurch werden die Datenpakete als erstes vom Verteiler bearbeitet und an die Zieladresse übermittelt. Voraussetzung für QoS ist, dass die eingesetzten Verteiler diese Steuerung unterstützen.<sup>37</sup>

Damit Dante auch für die Zukunft gerüstet ist, wurde bei der Entwicklung auf die Anforderungen den zukünftigen Standard AVB geachtet. Der von der AVnu Alliance™ entwickelte Standard schreibt u.a. vor, dass ein Netzwerk über QoS verfügen muss und wie die Adressierung der Geräte erfolgen muss. Weiterhin ist der Datentransport von Audio- und Videoinhalten geregelt. Alle diese Vorschriften sind bereits in Dante integriert. Daher das Netzwerk für die zukünftige AVB Nutzung geeignet.<sup>38</sup>

### 4.3 Anwendung von Dante

Dante wird hauptsächlich bei Live-Veranstaltungen verwendet. Außerdem eignet sich das Netzwerk für Festinstallationen in Konzert- und Ballhäusern. Grund für diese Anwendungsbereiche sind die Kapazität, die freie Topologie und die geringen Latenzzeiten. Weiterhin bietet Dante durch den redundanten Netzaufbau eine hohe Ausfallsicherheit. Auch geringe Aufbau- und Einrichtungszeiten sprechen für das Netzwerk. Bisher wurde es beispielsweise bei den Schlossfestspielen Schwerin 2013 erstmals eingesetzt. Bei den Veranstaltungen wurden rund 100 Audiosignale übertragen. Einen großen Vorteil bot dabei die direkte Einbindung von 66 Funkstecken, ausgeteilt auf Doppel- und 4-fach-Empfänger der Shure ULX-D Serie, welche mit einer Dante-

---

<sup>36</sup> Webseite Dante – URL:

[http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#dvs/dante\\_virtual\\_soundcard\\_faqs.htm](http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#dvs/dante_virtual_soundcard_faqs.htm) [Stand: 27. Jun 2013]

<sup>37</sup> Webseite Dante – URL:

[http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting\\_up\\_dante/switches/switches.htm](http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting_up_dante/switches/switches.htm) [Stand: 27. Jun 2013]

<sup>38</sup> Dante – Audio Networks Past Present and Future S. 9

Schnittstelle ausgestattet sind. Neben diesen Signalen wurden auch Kanäle für Instrumente via Dante übertragen. Dafür wurden an verschiedenen Stellen 3 Yamaha Rio 1608 platziert. Die Verarbeitung der Signale fand auf den Mischpulten Yamaha LS9, 2x CL1 und CL5 statt. Alle Mischpulte waren über Dante miteinander verbunden. Da eine Yamaha LS9 keine Dante Schnittstelle besitzt, wurden für die Einbindung mehrere Yamaha Dante-MY-Aud verwendet.<sup>39</sup>

Mittlerweile wird Dante auch sehr großen internationalen Konzerten eingesetzt. Die Tournee von Joe Cocker wurde zum Beispiel im Bereich Audio mit Dante realisiert. Alle Ein- und Ausspielwege, sowie alle Mischpulte und Computer waren über das Netzwerk verbunden und konnten somit gesteuert und überwacht werden.<sup>40</sup>

---

<sup>39</sup> Webseite EventElevator – URL: <http://www.eventelevator.de/interviews/23-interviews/2858-schlossfestspiele-schwerin-shure-ulx-d-dante-timax-2013> [Stand: 25. Jul 2013]

<sup>40</sup> Webseite EventElevator – URL: <http://www.eventelevator.de/neuigkeiten/beschallung/2711-satisfy-mit-joe-cocker-auf-grosser-europatournee> [Stand: 25. Jul 2013]

## 5 EtherSound

### 5.1 Einleitung

Das Audionetzwerk EtherSound wurde von der Firma Digigram aus Frankreich entwickelt und 2011 der Öffentlichkeit präsentiert. EtherSound wird ebenfalls den „Audio-over-Ethernet“-Netzwerken zugeordnet. Heutzutage zählt das Netzwerk als ein Klassiker im Bereich digitaler Audionetzwerke. EtherSound ist auf Grund seiner geringen Latenz zwischen 2 Geräten ein Echtzeitnetzwerk. Es wird bzw. wurde von vielen Mischpultherstellern als Verbindung zwischen einer Stagebox und dem Mischpult verwendet. Dazu zählen die Hersteller Allen & Heath, DiGiCo und Yamaha. Auch einige Hersteller von Beschallungssystemen nutzen EtherSound, so beispielsweise Martin Audio. Für die Signalübertragung nutzt EtherSound ein Standardnetzwerkkabel Cat. 5e bei einer Übertragungsgeschwindigkeit von 100Mbit/s. Für die Übertragung über längere Strecken können auch Glasfaserleitungen in Verbindung mit Netzwerkwandlern Glasfaser-Cat5 verwendet werden. Jedes Gerät, welche mit EtherSound arbeitet, verfügt über 2 Netzwerkschnittstellen. Für die Verbindung der Geräte stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Sie können mittels der Topologien „Daisy-Chain“, Stern oder Ring verknüpft werden. Eine Kombination der beiden Topologien „Daisy-Chain“ und Stern sind ebenfalls möglich.<sup>41</sup>

Bei der Verbindung „Ring“ ist das Netzwerk redundanzfähig. Somit kann im Ring-Betrieb eine Signalleitung ausfallen ohne dass das Netzwerk zusammenbricht. Damit in der Ringtopologie die Ausgangssignale des Masters, welche am Ende des Ringes wieder am Eingang des Masters anliegen, nicht noch einmal in den Ring gespeist werden, wurde die Technologie „Spanning tree“ eingeführt. Dabei wird der Eingang des Masters vom Gerät geblockt. Kommen die Ausgangssignale des Masters nicht mehr am Eingang an, wird der geblockte Eingang wieder freigeschaltet. Bei der Umschaltung treten jedoch kurz Signalaussetzer auf, welche als Unterbrechung des Audiosignals hörbar werden.<sup>42</sup>

Das Audionetzwerk EtherSound verfügt über 64 Kanäle bei einer bi-direktionalen Übertragung. Diese Kanalzahl steht bei einer Abtastfrequenz von 48 kHz und einer Abtast-rate von 24bit zur Verfügung. Weiterhin können Steuerdaten, wie RS232, übermittelt

---

<sup>41</sup> Webseite EtherSound – URL: <http://www.ethersound.com/technology/overview.php> [Stand: 29. Juli 2013]

<sup>42</sup> Vortrag PIK AG – „Audionetzwerke in Vergleich“ 2012 - Videomitschnitt

werden. Die Synchronisation der Geräte erfolgt selbstständig durch ein Mastergerät im Netzwerk.<sup>43</sup>

2008 stellte Digigram eine Weiterentwicklung des Netzwerks EtherSound, das „ES-Giga“ vor. Dieses Audionetzwerk ist mit dem Vorgänger nicht kompatibel. Das Audionetzwerk ES-Giga überträgt bis zu 256 Hin- und 256 Rückkanäle. Die neue ES-Giga Schnittstelle hat sich derzeit auf dem Markt noch nicht verbreitet.<sup>44</sup>

## 5.2 Technische Merkmale

### Topologien des Netzwerks

Die Topologie „Daisy-Chain“ ist die einfachste Anwendung in einem EtherSound-Netzwerk. Dabei werden die Geräte nach einander von Ausgang (Out) nach Eingang (In) verkabelt. Bei dieser Verkabelung steigt die maximalverfügbare Kanalzahl auf 128 Kanäle an, da im Netzwerk keine Bandbreite für einen Havariefall freigehalten werden muss.<sup>45</sup>

Die Synchronisation der Geräte erfolgt durch den „Primary Master“ (PM) mittels Takt-signal. Die Geräte können jedoch auch über eine externe Wordclock synchronisiert werden. In dieser Konfiguration besitzt EtherSound keine Redundanz. Bricht eine Verbindungsleitung oder weist ein Gerät einen Defekt auf, so entstehen 2 neue von sich getrennte Netzwerke.<sup>46</sup>

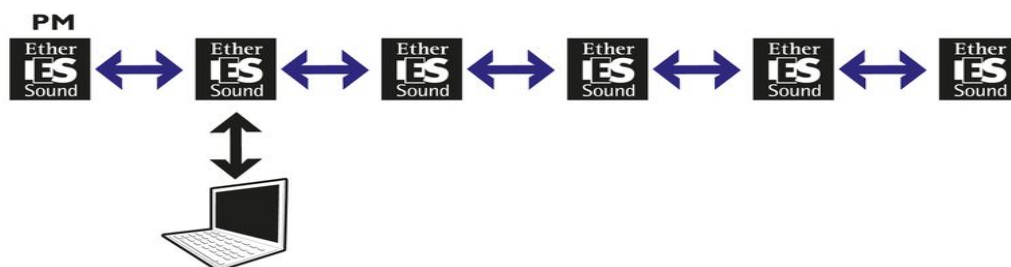


Abbildung 10: Topologie "Daisy-Chain"

<sup>43</sup> Webseite EtherSound – URL: <http://www.ethersound.com/technology/topologie.php> [Stand: 29. Juli 2013]

<sup>44</sup> Broschüre EtherSound – „EtherSound ES-100 Audio Transport“

<sup>45</sup> Webseite EtherSound – URL: <http://www.ethersound.com/technology/topologie.php> [Stand: 29. Juli 2013]

<sup>46</sup> Vortrag PIK AG – „Audionetzwerke in Vergleich“ 2012 - Videomitschnitt

Eine weitere Struktur ist eine Kombination der Topologien Stern und „Daisy-Chain“. Bei dieser Struktur werden die einzelnen „Daisy-Chain“ Netzwerke über einen Switch verbunden. Dabei stehen aber niemals alle Kanäle überall zur Verfügung, da die Übertragung über den Netzwerkschalt nur in eine Richtung (unidirektional) geschieht. Je nach Anbindung der „Daisy-Chain“ Segmente können Signale gesendet oder empfangen werden. Die digitalen Signale werden an die anderen Segmente übertragen, wenn der Ausgangsport der EtherSound-Karte mit dem Netzwerkschalt verdrahtet ist. Wird der Switch mit dem Eingangsport eines EtherSound-Geräts verbunden, können digitale Signale empfangen werden. Das gesamte Netzwerk wird durch einen „Primary Master“ synchronisiert. Jedoch muss das Netzwerk so konfiguriert sein, dass nur ein „Daisy-Chain“ Segment Daten in den Switch sendet. Sobald ein weiteres Segment Daten in den Switch sendet, wird dieses Segment entweder nicht getaktet oder es existieren im gesamten Netzwerk zwei Master, wodurch ein Synchronisationskonflikt entsteht. Weiterhin ist es möglich, dieses Netzwerk durch eine externe Clock zu takten, wenn diese in das Segment mit dem PM eingebunden wird.<sup>47, 48</sup>

Diese Netzwerkstruktur bietet, wie das normale „Daisy-Chain“, keine Möglichkeit einer Redundanz. Tritt im Netzwerk ein Defekt auf, so entstehen ebenfalls von sich unabhängige Netzwerke. Das Netzwerk verfügt über eine maximale Kanalzahl von 128 im Downstream, da keine Bandbreite für die Redundanz vorgehalten werden muss.<sup>49</sup>

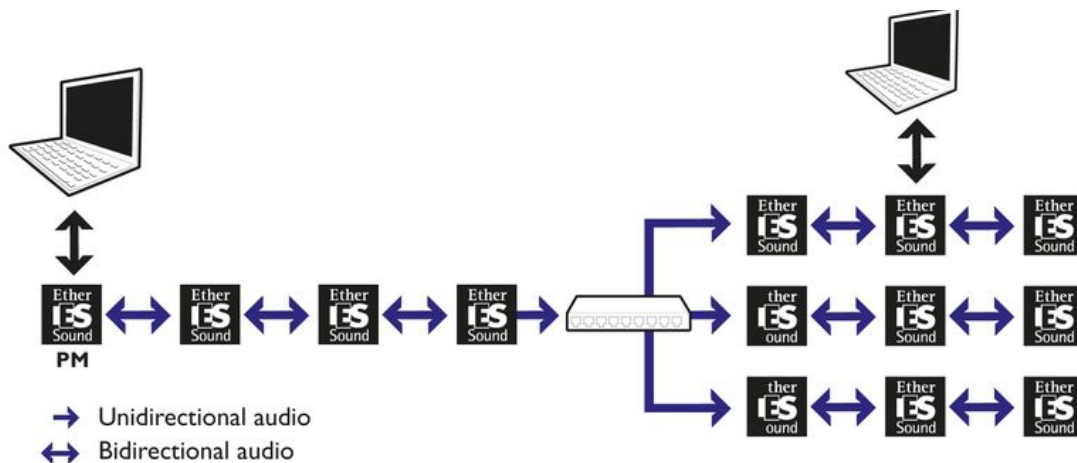


Abbildung 11: Topologie Daisy-Chain & Stern

<sup>47</sup> Webseite EtherSound – URL: <http://www.ethersound.com/technology/topologie.php> [Stand: 29. Juli 2013]

<sup>48</sup> Broschüre EtherSound – „Overview – An Introduction oft he ES-100 Technology“ S. 8

<sup>49</sup> Broschüre EtherSound – „Overview – An Introduction oft he ES-100 Technology“ S. 8 f.

Die Geräte im Audionetzwerk EtherSound können außerdem mit Hilfe der Topologie Ring verbunden werden. Dabei entsteht der größte technische Aufwand bei einer Installation eines EtherSound-Netzwerks. Prinzipiell wird das Netzwerk in Form des „Daisy-Chain“-Netzwerks aufgebaut, zusätzlich wird der Ausgang des letzten Geräts mit dem Eingang des ersten Geräts verbunden. Weiterhin muss ein Primary Master festgelegt werden, welche den Anfang/Ende des Rings definiert und das Netzwerk im gesamten synchronisiert. Die Möglichkeit diesen Ring über externe Clock zu takten, besteht ebenfalls, wenn sie mit dem PM verbunden ist.<sup>50</sup>

Damit es in einen EtherSound-Ring nicht zu einer Echobildung von Signalen bzw. zu Datenfeedbacks kommt, welche entstehen, wenn die Ausgangssignale eines Gerätes nach einen Durchlauf wieder empfangen und abermals versendet werden, verfügt EtherSound über einen Standard namens „Spanning tree“. Bei diesem Protokoll erkennt das Gerät automatisch Signale am Eingang, welche zu vor am Ausgang versendet wurden, und blockiert diesen Eingang. Sobald an einer Stelle ein Gerät oder Kabel ausfällt, kommen die Ausgangssignale nicht mehr am Eingang an und der Port wird für den Datenverkehr wieder freigegeben. Bei einer Umschaltung treten kurze Audioaussetzer auf. Da die Daten in einem Havariefall in beide Richtungen übertragen werden müssen, wird die doppelte Bandbreite als normal benötigt. Dadurch wird die Kanalkapazität auf 64 Kanäle begrenzt.<sup>51</sup>

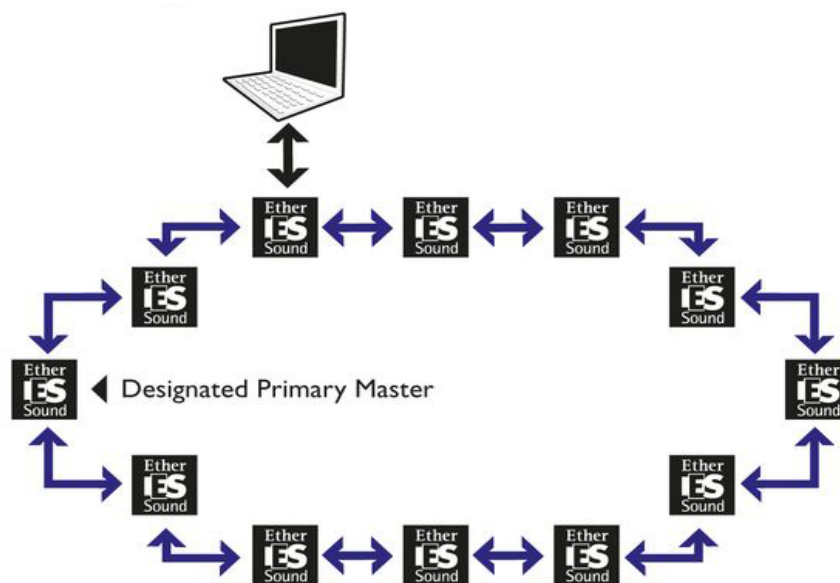


Abbildung 12: Topologie Ring

<sup>50</sup> EtherSound – „Overview – An Introduction of the ES-100 Technology“ S. 9

<sup>51</sup> Vortrag PIK AG – „Audionetzwerke in Vergleich“ 2012 - Videomitschnitt

## Latenz und Synchronisation

Das digitale Audionetzwerk EtherSound verfügt über sehr geringe Latenzzeiten, welche das Netzwerk „Echtzeit-fähig“ macht. Die Signalwandlung von Analog zu Digital bei einer Abtastfrequenz von 48kHz und einer Abtastrate von 24bit benötigt zwischen 0,6 und 1ms. Die anschließende Übertragung eines Datenpakets von einem EtherSound-Gerät zum nächsten Gerät dauert lediglich 100µs. Dies entspricht einer Latenz von 5 Samples bezogen auf einer Abtastfrequenz von 48kHz. Damit benötigen Audiosignal vom analogen Eingang bis zum analogen Ausgang 1,5 bis 2ms. Bereits digitalisierte Signale (AES/EBU) brauchen für eine Übertragung 175µs, da die Wandlung in ein EtherSound Paket 3 Samples benötigt. Diese Zeiten beziehen sich auf eine direkte Übermittlung der Daten ohne zwischengeschaltete Geräte. Jedes weitere EtherSound-Gerät verzögert die Signale um 1,4µs, ein Netzwerkschicht verzögert die Übertragung um 1 Sample. Dies entspricht einer Verzögerung um 20µs.<sup>52</sup>

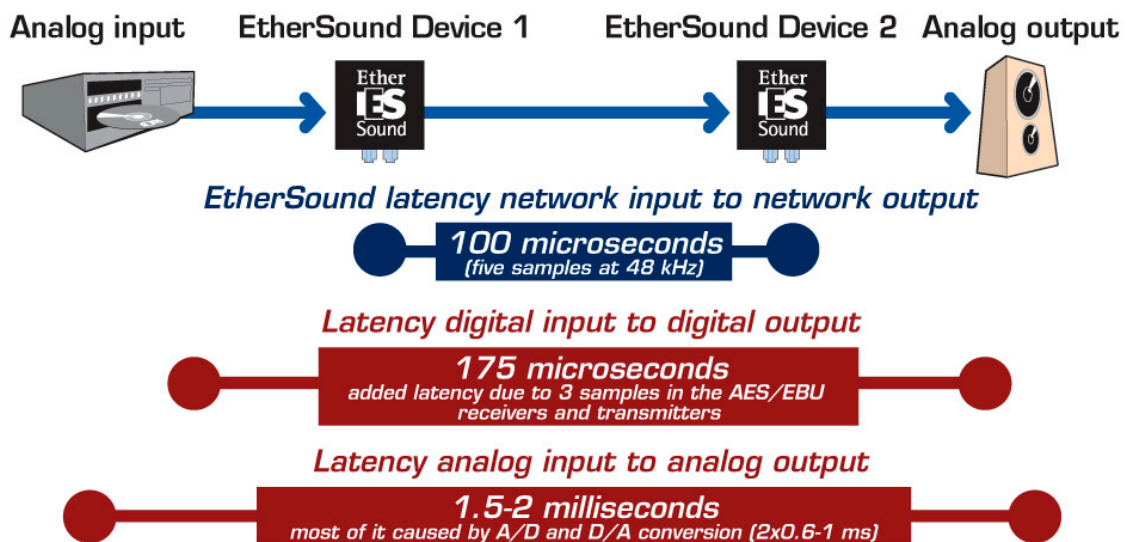


Abbildung 13: Latenzdiagramm

Die Synchronisierung der einzelnen EtherSound Geräte in einem Audionetzwerk erfolgt durch ein Audiotaktsignal (Clock), welches durch den Primary Master im Netzwerk generiert und über den EtherSound-Datenstrom mit den Audio- und Steuersignalen verteilt wird. Die Clock taktet die Geräte mit einer Frequenz von 44,1, 48, 96 oder 192kHz. Weiterhin ist es möglich, das Netzwerk durch einen externen Takt zu synchronisieren. Dieses Taktsignal kann über einen Wordclock Eingang oder mittels AES11 ausschließ-

<sup>52</sup> EtherSound – Overview S. 6

lich an den Primary Master oder an mehrere Geräte übertragen werden, wenn diese den selben Takt wie der Primary Master erhalten. Bei diesem Verfahren erfolgt über den Datenstrom des EtherSound-Netzwerks keine Synchronisation. In einem Netzwerk darf nur ein Taktgeber existieren, da die Geräte sonst unterschiedliche Taktsignale erhalten und dadurch Audiodatenpakete falsch zusammengesetzt bzw. verloren gehen. Diese Tatsache ist vor allem bei der Verwendung der Topologie Stern zu beachten.<sup>53</sup>

## Konfiguration und Routing

EtherSound Geräte in einem Netzwerk konfigurieren sich automatisch nach dem EtherSound Standard. In der Automation sind die Geräteidentifikation, die Einstellungen der Betriebsart (Master/Slave), die Verteilung der Audiosignale und eine Fehlererkennung enthalten. Die Verteilung der eindeutigen Geräteerkennung erfolgt vom Mastergerät aus zum nachfolgendem Gerät an Hand der Verkabelung. Weitere Einstellungen, wie Vorverstärkung und Effekteinstellung, müssen manuell am Gerät oder über die Software „EScontrol“ eingestellt werden. Mittels Software können auch die Einstellung, welche automatisch gesehen, verändert werden. Für eine Steuerung via Software wird ein Computer mittels Netzkabel mit dem Ethernet-Port des EtherSound Geräts, welcher speziell für diese Verbindung vorgesehen ist, verbunden.<sup>54</sup>

Mittels der Software „EScontrol“ wird das Kanalrouting in einem EtherSound Netzwerk festgelegt. Die Anwendung bildet alle verfügbaren Geräte mit ihren Ein- und Ausgängen in einer übersichtlichen Kanalmatrix ab. Die Zuweisung der Eingangskanäle auf die entsprechenden Ausgänge erfolgt durch einen Mausklick an die entsprechende Stelle in der Übersicht. Weiterhin werden Fehler, welche bei der Bearbeitung der Routingtabelle auftreten können, am betreffenden Kanal farblich hervorgehoben. In der Übersicht „The ‚Events‘ view“ listet die Software weitere Fehler auf. Ebenfalls werden die Netzwerktopologie und der Signalfluss dargestellt. Die Abbildung 14 veranschaulicht die Ansicht der benutzten Topologien der Software „EScontrol“.<sup>55</sup>

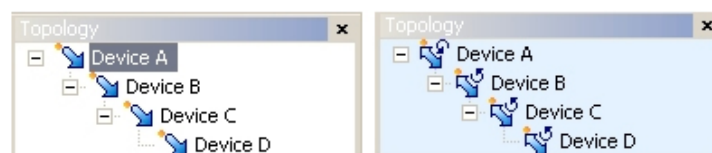


Abbildung 14: EScontrol - Ansicht Topologie

<sup>53</sup> EtherSound – Overview S. 6

<sup>54</sup> EtherSound – Overview S. 10

<sup>55</sup> EtherSound – Programmhilfe EScontrol v02.42 d



## 5.3 Anwendung von EtherSound

Das Audionetzwerk EtherSound findet in unterschiedlichen Audiobereichen diverser Hersteller Anwendung. Der Entwickler Digigram bietet verschiedene A/D-Wandler für Mikrofon- und Linesignale, Ein- und Ausgabegeräte für Signale nach AES/EBU und D/A-Wandler für die Ausgabe analoger Signale. Weiterhin stellt Digigram die Einschubkarte für die digitale Stagebox D21m des Herstellers Studer her. Die Hersteller Allen & Heath, DiGiCo und Yamaha nutzen eine EtherSound Lizenz und bieten firmeneigene Schnittstellen für ihre Systeme an. Ein Beispiel dafür ist die Yamaha MY16-ES64 Karte, welche das Audionetz EtherSound in Form einer Einschubkarte für die Yamaha Mischpulte verfügbar machen. Durch die Nutzung dieser Einschubkarten ist es mit Hilfe des Audionetzwerkes EtherSound möglich verschiedene herstellersistenspezifische Geräte in einem Netzwerk zu nutzen. Beispielsweise kann die Stagebox SB168-ES von Yamaha mit den Mischpulten Soundcraft VI6 oder Allen & Heath iLive-112 über EtherSound verbunden und betrieben werden. Weiterhin wird EtherSound als Festinstallation beispielsweise in Theatern und Konzerthäusern verwendet in welchen ein Livebetrieb stattfindet.<sup>56 57</sup>

---

<sup>56</sup> Webseite EtherSound – URL: <http://www.ethersound.com/products/product.php> [Stand: 24. Jul. 2013]

<sup>57</sup> Webseite EtherSound – URL: [http://www.ethersound.com/news/getnews.php?enews\\_key=164](http://www.ethersound.com/news/getnews.php?enews_key=164) [Stand: 5. Aug. 2013]

## 6 Multichannel Audio Digital Interface

### 6.1 Einleitung

Das digitale Audionetzwerk Multichannel Audio Digital Interface, kurz MADI wurde gemeinsam durch die Firmen Mitsubishi, Neve, Sony und Solid State Logic entwickelt. Weiterhin entstand das Protokoll aus einer von der Industrie angestrebten Standardisierung. Somit ist MADI ein Audionetzwerk, welches nicht herstellerabhängig ist. 1991 wurde MADI erstmals von der Audio Engineering Society und dem Standard AES10-1991 genormt. Dieser Standard wurde 2003 von AES überarbeitet und ist nun im AES10-2003 festgeschrieben. Im Jahre 2008 erfolgte eine weitere Anpassung des Standards, jedoch ohne Herausgabe einer neuen Normung. Neben der Bezeichnung Multichannel Audio Digital Interface erhielt es von der AES die Kennzeichnung AES10. Die Geräte im Netzwerk werden mittels Glasfaser oder Koaxialkabel 75Ω verbunden. Mittlerweile gibt es ebenfalls Verbindungsmöglichkeiten via Ethernet Cat. 5e, welche beispielsweise von den Herstellern RME Intelligent Audio Solutions und Soundcraft angeboten werden. Die Geräte verfügen jeweils über einen Anschluss für den Signaleingang, sowie einen Anschluss für den Signalausgang. Bei der Verbindung via Netzwerkkabel Cat. 5e wird nur ein Kabel benötigt. Die RJ45 Schnittstellen der nachfolgenden Abbildung „MADI Router“ übermittelt MADI Signalströme, sind aber nicht mit dem Standard AES10 der Audio Engineering Society konform.<sup>58, 59</sup>



Abbildung 15: MADI Router Firma RME Intelligent Audio

Da für Multichannel Audio Digital Interface ein eigener Übertragungsstandard entwickelt wurde und es keine Ethernet Technologien benutzt, gehört es auch nicht in die

---

<sup>58</sup> Audio Engineering Society Standardisierung nach AES10-2003

<sup>59</sup> Gespräch Jan Ehrlich IMM Mittweida

Kategorie „Audio-over-Ethernet“ und können die Signale dadurch auch nicht mit Standardnetzwerktechnik, beispielsweise mit einem Switch zur Signalverteilung, verbunden werden. Das Audionetzwerk arbeitet mit der Topologie Peer-to-Peer. Das bedeutet, dass die Signale nur von einem Sender zu einem Empfänger übertragen werden können. Ist eine Verteilung der Signale notwendig, ist der Einsatz von speziellen Signalverteilern unvermeidbar. Ein MADI-Datenstrom verfügt über maximal 64 Kanäle pro Leitung. Neben den Audiodaten ist die Übertragung von MIDI Signalen und einem Taktsignal möglich. Die Kanäle stehen bei einer Abtastfrequenz von 48kHz und einer –rate von 24bit zur Verfügung. Weiterhin verfügt das Netzwerk über die Möglichkeit einer Anhebung der Abtastfrequenz bei gleicher Übertragungsrate. Dabei reduziert sich jedoch die maximal verfügbare Kanalzahl. Die Übertragung eines Audio-Frames benötigt lediglich 20,8µs unabhängig von der gewählten Samplefrequenz.

## 6.2 Technische Merkmale

### Topologie

Das Audionetzwerk Multichannel Audio Digital Interface arbeitet in der Topologie Peer-to-Peer. Somit können in einem Netzwerk auf Grundlage des Standards AES10 nur 2 Geräte miteinander verbunden werden. Sollen mehrere Geräte verwendet werden, muss ein Gerät, welches über eine Signalmatrix und mehrere MADI Ports verfügt, verwendet werden. Mit Hilfe dieses Geräts werden die Peer-to-Peer Verbindungen zu der Netzwerktopologie Stern zusammengefasst und die einzelnen Eingangssignale auf die entsprechenden Ausgänge verteilt. Der genaue Arbeitsprozess wird im Punkt Konfiguration und Routing erläutert. Die nachfolgende Grafik zeigt den Aufbau der Sterntopologie bei der Nutzung von MADI.<sup>60</sup>

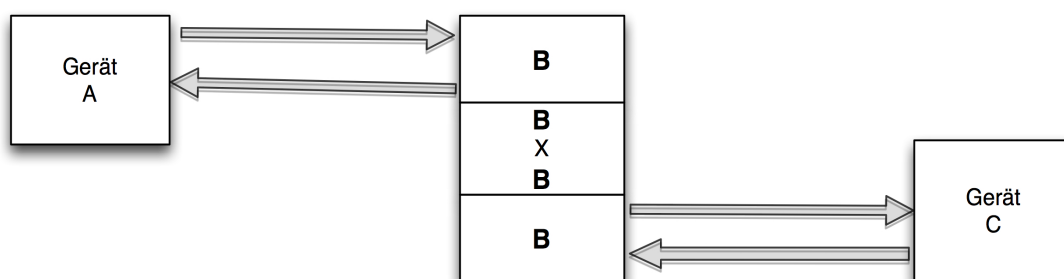


Abbildung 16: MADI Topologie Stern

<sup>60</sup> Vortrag PIK AG – „Audionetzwerke in Vergleich“ 2012 - Videomitschnitt

Da die Geräte mit 2 Signalleitungen, die erste vom Ausgang Gerät 1 mit dem Eingang Gerät 2 und die zweite Leitung mit dem Ausgang Gerät 2 mit dem Eingang Gerät 1 verbunden wird, kann von einer bidirektionalen Übertragung gesprochen werden. Die nachfolgende Grafik zeigt den schematischen Aufbau der Signalübertragung im Netzwerkformat Multichannel Audio Digital Interface. Weiterhin stellt die Grafik die Topologie Peer-to-Peer dar, welche von der AES in der Norm AES10 festgelegt wurde.

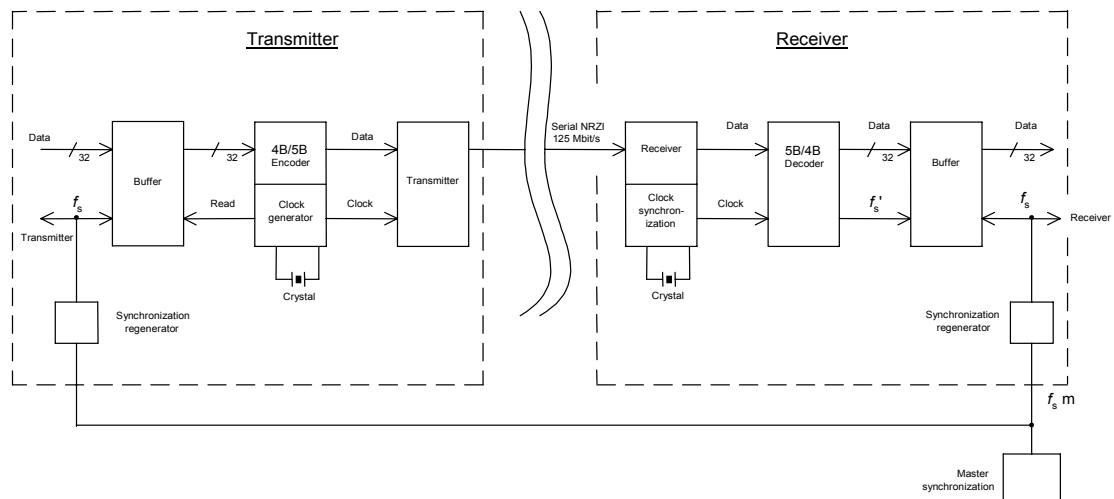


Abbildung 17: MADi Topologie Peer-to-Peer

Neben den bisher genannten Topologien lässt MADi noch den Aufbau als Ring zu. Dabei wird jedoch nur ein MADi Strom erzeugt, welcher von verschiedenen Geräten mit Audiodaten erzeugt wird. Dabei wird der aus 64 Kanälen bestehende Datenstrom in beispielsweise 8 Blöcke zu je 8 Kanäle unterteilt. Die A/D- und Formatwandler im Netzwerk füllen einen oder mehrere diese Blöcke mit Audiodaten. Die Auswahl und die Anzahl der Blöcke werden am jeweiligen Wandler eingestellt. Verbunden werden die Geräte vom MADi-Ausgang des ersten Gerätes zum Eingang des Zweiten usw. Werden in diesem MADi-Ring Blöcke doppelt belegt oder gar der ganze MADi-Strom durch ein im Ring befindliches Gerät neu erstellt, werden die vorher vorhandenen Signale unwiderruflich überschrieben. Diese Ringtopologie wird beispielsweise von der Firma RME Intelligent Audio Solutions verwendet. Ein Anwendungsbeispiel dieser Topologie wäre die Verschaltung mehrerer 8 Kanal A/D-Wandler vom Typ Micstasy der Firma RME. Am MADi-Ausgang des 8. Micstasy steht ein vollständiger MADi-Signalstrom mit 64 Audiokanälen zur Verfügung, welcher durch weitere Hardware, beispielsweise einem Computer mit MADi Interface, verarbeitet werden kann. Weitere Beispiele dieser Anwendung können inklusive grafischer Darstellung auf der Internetseite der Firma RME

Intelligent Audio Solutions unter dem Punkt „MADI Info Center“ abgerufen werden. Unabhängig der verwendeten Topologie gibt es pro Netzwerk nur einen Master, welcher für die Synchronisation zuständig ist.<sup>61</sup>

## Latenz und Synchronisation

Alle Geräte im MADI-Netzwerk werden durch einen Synchronisationstakt versorgt. Das Taktsignal wird durch ein Gerät im Netzwerk, dem Master bzw. Taktgenerator verteilt. Der Master erzeugt intern eine eigene Clock oder kann wiederum durch ein externes Gerät über Wordclock-Eingang getaktet werden. Die Verteilung des Taktes erfolgt mit dem MADI-Strom als eingebettetes Signal. Dafür ist im Datenstrom ein Teil reserviert. Die möglichen Positionen im Datenstrom stellt die nachfolgende Grafik dar. Hauptsächlich befinden sich die Synchronisationselemente am Ende des Frames. Weiterhin erfolgt eine Taktung der einzelnen MADI-Frames durch das erste Bit, das MADI subframe Zero, in einem MADI-Frame. Alternativ können die Geräte über Wordclock synchronisiert werden. Dafür verfügen die Geräte über einen Wordclock Ein- und Ausgang als BNC-Ausführung. Das Wordclocksignal wird im Daisy-Chain Verfahren verteilt. In der Normung AES10 ist für die Synchronisation das Verfahren 4B5B vorgesehen.<sup>62</sup>

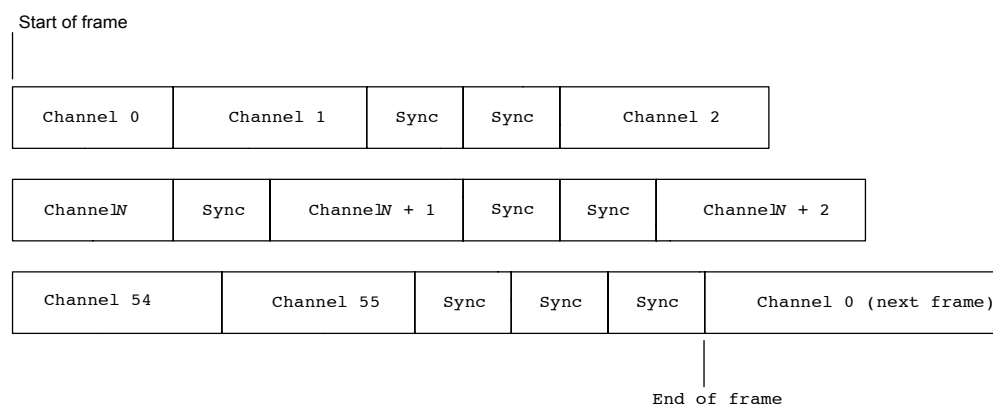


Abbildung 18: Schema 4B5B Synchronisation

Genaue Festlegungen über die Latenzzeiten im Standard AES10 der AES existieren nicht. Es wird jedoch eine maximale Übertragungsrate von 125Mbit/s und eine minimal notwendige Rate von 50,176Mbit/s festgelegt. Die reine Datenrate beträgt laut Nor-

<sup>61</sup> Handbuch Micstasy RME Intelligent Audio Solutions S. 34 f.

<sup>62</sup> Audio Engineering Society Standardisierung nach AES10-2003 S.10

mung 100Mbit/s. Die restliche Bandbreite von 25Mbit/s wird meist durch die Synchronisationsbits belegt. Die Geschwindigkeiten ergeben sich aus den zu übertragenden Kanälen und der gewählten Abtastrate. Bei einer gewählten Abtastrate von 48kHz und 64 Audiokanälen bzw. 32 Kanälen. Der Wahl einer Samplefrequenz von 96kHz ergibt sich eine Übertragungsgeschwindigkeit von 98,304Mbit/s. Der Hersteller Soundcraft gibt unter Verwendung seiner Geräte eine Latenz von 2ms für die Übertragung mittels MADi an.<sup>63</sup>

### Konfiguration und Routing

Beim Aufbau eines MADi Netzwerks zwischen 2 Geräten ist eine Gerätekonfiguration nicht nötig. Die beiden müssen Geräte entweder als Master oder als Slave auf Grund der notwendigen Synchronisation festgelegt werden. Wird das Netzwerk durch Komponenten aufgebaut, welche auf Grund ihrer Bauart keinen vollständigen MADi Signalstrom generieren, ist eine eindeutige Gerätekonfiguration erforderlich. Ebenfalls muss im Netzwerk ein Master festgelegt werden. Die anderen Geräte arbeiten wieder im Modus Slave und erhalten das Taktsignal vom Mastergerät. Weiterhin müssen den Geräten, welche nur Teile des MADi-Stromes nutzen, eindeutige Bereiche bzw. Blöcke zugeordnet werden, da sonst eventuell Audiodaten vorheriger Geräte überschrieben werden. Findet im MADi-Netzwerk eine sternförmige Signalverteilung Anwendung, müssen die einzelnen Peer-to-Peer Verbindungen zum Sternverteiler, welcher meist als MADi-Bridge bezeichnet wird, aufgebaut werden. Weiterhin muss die Bridge konfiguriert werden und den physischen MADi-Ausgängen am Verteiler die entsprechenden Eingangsleitungen zugeordnet werden. Die Abbildung 19 zeigt beispielhaft die MADi-Bridge SPLIT.CONVERTER der Firma DirectOut Technologies. Bei diesem Gerät verfolgt die Zuweisung der MADi-Signale über Drehschalter.



Abbildung 19: D.O.TEC SPLIT.CONVERTER

Verfügt der Sternverteiler über eine interne Signalmatrix, können damit die einzelnen Audiokanäle bzw. Blöcke der einzelnen MADi-Ströme neu verteilt und geroutet werden. Damit ist es möglich aus den bestehenden Datenströmen neue MADi-Signale zu generieren und zu verteilen. Es können jedoch auch ganze Ströme ohne Veränderung an

<sup>63</sup> Audio Engineering Society Standardisierung nach AES10-2003 S.10 f.

einen oder mehrere Ausgänge übergeben werden. Durch die Verwendung einer Signalmatrix können die Ausgangssignale unabhängig der vorhandenen Eingangssignale verteilt werden. Bei einigen Geräten können neben den Audiodaten die vorhandenen Steuerdaten unabhängig vom Routing der Audiosignale versendet werden. Beispielsweise können Audiosignale, welche von einem Computer verschickt werden, an ein Mischpult und die im Signalstrom enthaltenen Steuersignale an Geräte eines anderen MADI-Stromes, zur Steuerung dieser Geräte, geschickt werden.<sup>64</sup>

## 6.3 Anwendung von AES10 / MADI

Multichannel Audio Digital Interface wird in verschiedenen Bereichen eingesetzt. Durch die kurzen Latenzzeiten ist es vor allem für einen Einsatz im Live-Betrieb, speziell im Gebiet der Veranstaltungstechnik, geeignet. Weiterhin wird AES10 für Festinstalltionen verwendet. Beispielsweise um verschiedene Studiobereiche mit einander zu vernetzen. Im Live-Bereich wird MADI von der Firma Soundcraft zur Verbindung der Stagebox mit dem Local-Rack verwendet. Ebenfalls wird die Steuerung der Stagebox über MADI realisiert. Soundcraft gibt für ihr System, gemessen vom analogen Signaleingang bis zum analogen Signalausgang, eine Latenzzeit von unter 2ms an. Auch der Hersteller Lawo nutzt MADI zur Verbindung seiner Stagebox DALLIS mit den Mischpulten der mc<sup>2</sup> Serie.<sup>65, 66</sup>

Weitere Hersteller u.a. Yamaha, Allen & Heath und Avid bieten für ihre Systeme Erweiterungskarten zur Integration in ein MADI Netzwerk an. Mit Ausnahme der Erweiterungskarte MY16-MD64 von Yamaha verfügen die Karten der oben genannten Hersteller nur über BNC-Anschlüsse. Über eine AES10 kompatible RJ45-Schnittstelle verfügen ausschließlich die MADI-Karten der Firma Soundcraft. Der Hersteller RME Intelligent Audio Solutions bietet ebenfalls ein Gerät mit einer RJ45 Schnittstelle als MADI-Port. Diese Schnittstelle ist jedoch nicht mit dem Standard AES10 kompatibel und verfügt zu dem nur über maximal 56 Audiokanäle. Außerdem bietet der Hersteller RME, wie auch beispielsweise die Hersteller DirectOut Technologies, Lawo, Ferrofish und SSL, Analog/Digital-, Digital/Analog- sowie digitale Formatwandler an, welche über einen optischen und koaxialen MADI-Port verfügen und damit in ein MADI-Audionetzwerk integriert werden können. Signalverteiler zur Nutzung der Topologie

---

<sup>64</sup> Produktinformation M.1k2 Firma DirectOut Technologies – URL:  
<http://www.directout.eu/de/produkte/m.1k2.html> [ Stand: 6. Aug 2013]

<sup>65</sup> Handbuch Soundcraft Vi Serie

<sup>66</sup> Product Information DALLIS von LAWO S.15

Stern werden zum Beispiel von DirectOut Technologies mit dem SPLIT.CONVERTER und von RME mit der MADI Router hergestellt und angeboten. Auf Grund der Standardisierung nach AES10 können alle Geräte miteinander genutzt werden.<sup>67 68</sup>

Für die Signalüberwachung und –prüfung innerhalb eines MADI-Stromes bietet die Firma DirectOut Technologies einen MADI-Kopfhörerverstärker, welcher einfach in die Signalleitung eingebaut wird, an. Damit kann u.a. jeder Audiokanal abgehört werden.<sup>69</sup>

---

<sup>67</sup> Gespräch Jan Ehrlich IMM Mittweida

<sup>68</sup> Webseiten DirectOut & RME [Stand: 6.Aug. 2013]

<sup>69</sup> Webseite D.O.TEC MA2CHBOX – URL: <http://www.directout.eu/de/produkte/ma2chbox.html> [Stand: 6. Aug. 2013]



## 7 OPTOCORE

### 7.1 Einleitung

Die Gründung und Patentierung von OPTOCORE erfolgte im Jahre 1994. Bereits Anfang der 1990er Jahre entwickelten Marc Brunke und Brunke Electronic das erste OPTOCORE Gerät. Nach dem die Eintragung des Patentes erfolgte, wurden auf der Fachmesse „Pro Light & Sound“ 1996 die ersten Module für das Netzwerk vorgestellt. OPTOCORE ist damit ein herstellerspezifisches Audionetzwerk, welches neben Audio- auch Video-, MIDI- und DMX-Signale überträgt. Der Name entstand auf Grund des gewählten Übertragungsmediums. Für die Übertragung der Signale wurde das optische Medium via Glasfaser gewählt. Es war damit das erste optische Audionetzwerk. Die Veröffentlichung der ersten digitalen Stagebox mit OPTOCORE Schnittstelle geschah 2000 unter dem Namen LX4. Diese Stagebox verfügt über A/D-Wandler für 48 Ein- und 16 Ausgangssignale. Die Gründung und der professionelle Vertrieb von OPTOCORE Geräten erfolgte 2003 durch die Optocore GmbH in München. Die Technologie wird mittlerweile von vielen Herstellern zur Signalübertragung genutzt. Der Hersteller DiGiCo nutzt das Netzwerk zur Verbindung der Stageboxreihe „SD-Rack“ mit seinen digitalen Mischpulten der SD Serie. Weitere Hersteller, beispielsweise Avid, LAWO, Soundcraft und Yamaha, bieten für ihre Systeme Einschubkarten für die Einbindung in das OPTOCORE Netzwerk an. Es ist wegen seiner technischen Eigenschaften und frühen Entwicklung ein weitverbreitetes und oft eingesetztes Netzwerk. Zu den Eigenschaften zählen vor allem die hohe Ausfallsicherheit, die Kapazität und die Geschwindigkeit. Da die mögliche Gerätezahl und die damit verfügbaren physischen Kanäle auf 24 Geräte pro Ring beschränkt ist, verfügen einige Geräte über eine Schnittstelle zur Ergänzung des Netzwerks. Durch diese RJ45 Schnittstelle kann ein neues Netzwerk namens „SANE“ aufgebaut und enthaltene Signale in das Stammnetzwerk OPTOCORE übergeben werden. Ein SANE Netzwerk kann ebenfalls über bis zu 24 Geräte verfügen. Die Übertragung der maximal möglichen 64 Kanäle erfolgt via Standardnetzwerkkabel Cat. 5. Durch die Erweiterung mittels SANE überträgt das Netzwerk OPTOCORE bis zu 1024 Audiokanäle. Beide Netzwerke nutzen die Topologie Ring. Das Stammnetzwerk OPTOCORE hat dabei die Besonderheit, dass durch die optische Verbindung der Geräte mit 2 Glasfaserleitungen ein doppelter Ring entsteht. Dieser doppelte Ring erhöht die Ausfallsicherheit um ein Vielfaches.<sup>70, 71</sup>

---

<sup>70</sup> Webseite Optocore – URL: <http://www.optocore.com/company/index.html> [Stand: 9. Aug. 13]

Werden in einem Ring mehrere Mischpulte, auch verschiedener Hersteller eingesetzt, besteht die Möglichkeit der Nutzung von „Independent gain“. Damit kann gleichzeitig an bis zu 4 Mischpulten die Vorverstärkung, auch als Gain bezeichnet, individuell verändert werden ohne das dabei Einfluss auf die anderen Mischpulte genommen wird. Die Funktionsweise wird im nachfolgendem Kapitel erläutert. In der nachfolgenden Grafik wird der prinzipielle Aufbau eines OPTOCORE Netzwerks inkl. SANE dargestellt. Weiterhin stellt die Grafik verschiedene Gerätetypen inkl. ihrer Funktion vor. Neben der Verarbeitung von analogen Signalen, verfügt OPTOCORE über Digitalwandler, welche die Einbindung mehrerer MADi Signalströme ermöglichen. Auch Ein- und Ausgangskanäle für AES/EBU stehen zur Verfügung.<sup>72</sup>

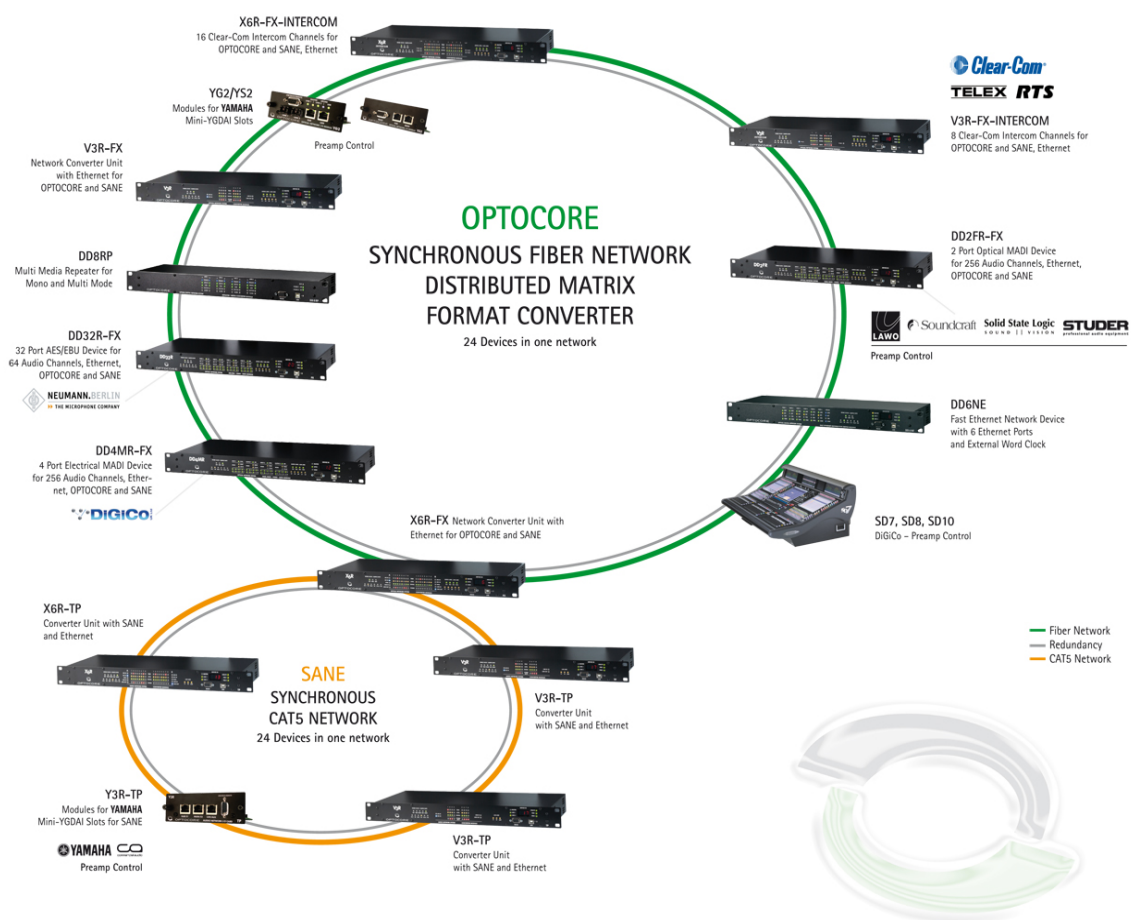


Abbildung 20: Optocore Ring inkl. SANE

<sup>71</sup> Webseite Optocore – URL: <http://www.optocore.com/products/Outstandingfeatures.html> [Stand: 9. Aug. 13]

<sup>72</sup> Webseite Optocore – URL: <http://www.optocore.com/products/Outstandingfeatures.html> [Stand: 9. Aug. 13]

## 7.2 Technische Merkmale

### Topologie

Im Audionetzwerk OPTOCORE wird ausschließlich die Netzwerktopologie Ring verwendet. Diese kommt auch im, zur Erweiterung genutzten, Netzwerk SANE zum Einsatz. Jedes OPTOCORE Gerät verfügt über 2 Schnittstellen, OPTOLINK 1 und OPTOLINK 2. Da über eine Glasfaserleitung keine bidirektionale Übertragung erfolgt, wird die Verbindung zwischen OPTOLINK 1 des ersten Geräts zum OPTOLINK 2 des zweiten Geräts über 2 Leitung realisiert. Weiterhin wird über 2 Leitungen eine Verbindung zwischen dem ersten (OPTOLINK 2) und dem letzten Gerät (OPTOLINK 1) aufgebaut. Durch diesen Aufbau entstehen 2 Ringe, wobei ein Ring in und der andere Ring gegen die Uhrzeigerrichtung verläuft. Weiterhin bietet es den Vorteil, dass bei einem Defekt im Netzwerk die Topologie Ring bestehen bleibt und dadurch eine extrem schnelle Umschaltung von 1 Sample erzielt wird. Im Netzwerk SANE wird für Verbindung der Geräte ein Netzkabel Cat. 5 benutzt. Jedes Gerät verfügt ebenfalls über 2 RJ45 Schnittstellen. Mit diesen Schnittstellen wird ein einfacher Ring aufgebaut. Durch die Möglichkeit einer bi-direktionalen Übertragung, entsteht auch im Bereich SANE ein redundantes Netzwerk.<sup>73, 74</sup>

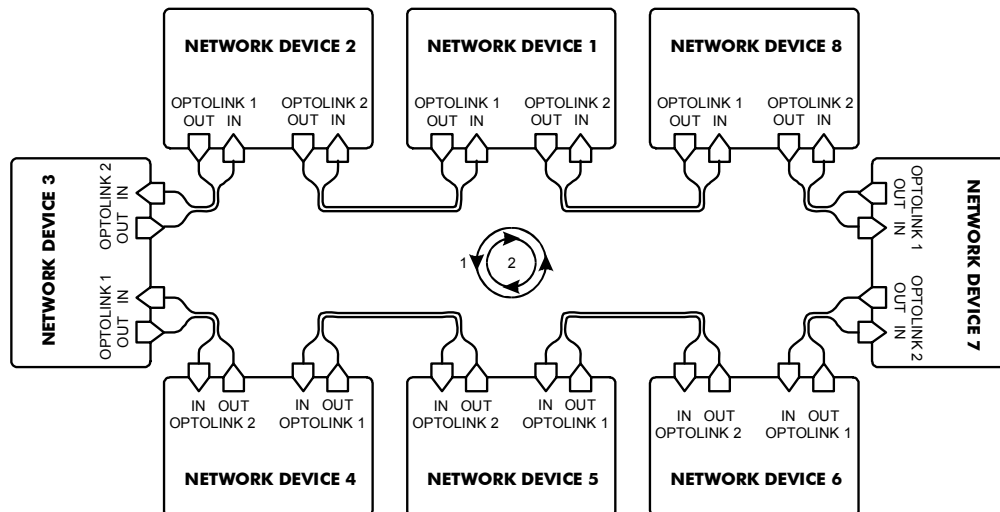


Abbildung 21: Topologie Optocore

<sup>73</sup> Broschüre „The Network“ OPTOCORE S.1 f

<sup>74</sup> Webseite OPTOCORE – URL: <http://www.optocore.com/service/faq.html> [Stand: 10.Aug. 13]

## Latenz und Synchronisation

In einem OPTOCORE Netzwerk werden alle Geräte über Wordclock getaktet. Ein im Netzwerk befindliches Gerät wird als Master definiert und synchronisiert mittels Wordclock alle anderen Geräte. Das Taktsignal wird als Bestandteil im OPTOCORE Datenstrom übertragen. Alternativ ist eine externe koaxiale Übertragung möglich. Die Geräte verfügen dazu über BNC Wordclock Ein- und Ausgang. Damit das Audionetzwerk im Falle eines Ausfalls des Taktgebers nicht plötzlich ungetaktet und unsynchron arbeitet, wird in diesem Fall innerhalb von 1 Sample automatisch ein neues Mastergerät aus den verbleibenden Geräten gewählt. Damit ist wieder ein Master im Ring vorhanden, welches nun das Taktsignal zur Verfügung stellt. Die Geräte können vom Master auf die Abtastfrequenzen von 44,1, 48, 88,2, 96, 176,4 und 192kHz getaktet werden. Die Abtastfrequenz beträgt 24bit. Die in der Einleitung angegebenen maximalen Kanalzahlen beziehen sich auf eine Abtastfrequenz von 24bit bei einer –frequenz von 48kHz.<sup>75</sup>

Die angegebene Latenzzeit eines OPTOCORE Netzwerks ist sehr gering. Diese Zeit wird mit 41,6  $\mu$ s unabhängig der verfügbaren Bandbreite und der Geräteanzahl angegeben. Damit besitzt das Netzwerk einen der geringsten Latenzwerte im Bereich digitaler Audionetze. Dieser Wert gilt für die Übertragung von einem digitalen Signaleingang bis zu einem digitalen Ausgang. Die Latenzzeiten bei Berücksichtigung einer A/D- und D/A-Wandlung sind höher und richten sich nach der verwendeten Samplefrequenz. Für die A/D-Wandlung werden  $39/F_s$  und für eine D/A-Wandlung  $28/F_s$  benötigt. Für die Abkürzung  $F_s$  (Abtastfrequenz) muss zur genauen Bestimmung die eingestellte Abtastfrequenz verwendet werden. Wird eine Frequenz von 48 kHz verwendet, ergibt sich für die A/D-Wandlung ein Wert von 0,81ms und die D/A-Wandlung 0,6ms. Damit ergibt sich eine Gesamtlatenz von 1,44ms inkl. der Signalübertragung zwischen den Geräten.<sup>76</sup>

## Konfiguration und Routing

Die Konfiguration der Geräte im OPTOCORE Netzwerk erfolgt selbstständig durch das Netzwerk. Es wird jedem Gerät eine Identifikationsnummer, kurz ID, zugeteilt, welche die Komponenten eindeutig adressiert. Die ID ermöglicht die Konfiguration jedes einzelnen Geräts im Netzwerk. Diese Gerätekonfiguration kann durch Anschluss eines Computers an ein beliebiges Gerät erfolgen. Alle anderen Teilnehmer können von dieser Stelle über OPTOCORE eingestellt werden. Der Anschluss eines Computers er-

---

<sup>75</sup> Webseite OPTOCORE – URL: <http://www.optocore.com/service/faq.html> [Stand: 10.Aug. 13]

<sup>76</sup> Broschüre „The Network“ OPTOCORE S.1 f

folgt über eine RJ45 Netzwerkschnittstelle, welche an vielen Geräten der OPTOCORE Reihe vorhanden ist. Neben der Netzwerkschnittstelle kann auch eine USB oder RS232 Schnittstelle für die Konfiguration benutzt werden. Die Software OPTOCORE remote control muss für die weitere Gerätekonfiguration via Computer verwendet werden. Die Software verfügt über eine Kanalmatrix, welche alle verfügbaren Kanäle übersichtlich darstellt. Über Matrix können die Signaleingänge den Ausgängen zu geordnet werden können. Weiterhin ist es über die Software möglich Globale und lokale Einstellungen vorzunehmen, Eingangspegel einzustellen und zu überwachen, sowie das gesamte Netzwerk während des Betriebs zu überwachen. Einen Einblick in die Software OPTOCORE remote control zeugt die folgende Grafik.<sup>77 78</sup>

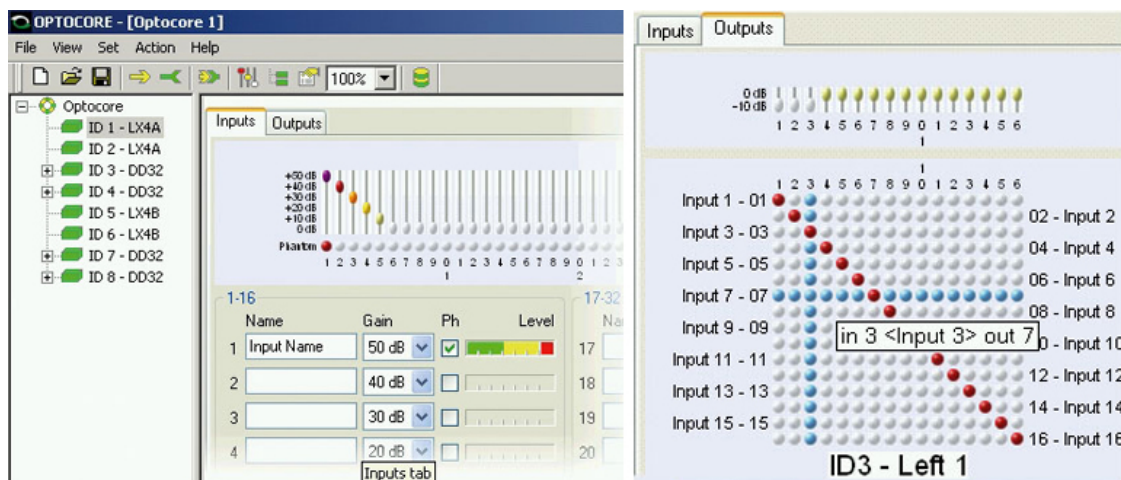


Abbildung 22: Einblick in OPTOCORE remote control

### Sonstige Merkmale

Optocore verfügt über das technische Merkmal „Independent gain“. Damit können bis zu 4 Mischpulte in einem Optocore Ring gleichzeitig auf die gleichen A/D-Wandler zugreifen, die anliegenden Signale abgreifen und für sich selbst die Einstellungen der Vorverstärkung dieser A/D-Wandler unabhängig von den anderen Mischpulten steuern. Über das Merkmal Independent gain werden bei Veränderung der Vorverstärkung in positive oder negative Richtung einerseits an den A/D-Wandler übermittelt und andererseits an die anderen beteiligten Mischpulte übertragen und dort im Hintergrund automatisch in die gegenwertige Richtung durch interne digitale Anhebung oder Absenkung des Gains angepasst. Damit bleiben die Gaineinstellungen an den anderen

<sup>77</sup> Broschüre „The Network“ OPTOCORE S. 1 f.

<sup>78</sup> Webseite OPTOCORE – URL: <http://www.optocore.com/products/software.html> [Stand: 30. Juli 13]

Mischpulten für den Benutzer unverändert und unsichtbar. Ändert ein anderer Benutzer anschließend ebenfalls den Gain erfolgt der gleiche Prozess, wie eben beschrieben, erneut.<sup>79</sup>

Jedes Gerät, welches über OPTOCORE oder SANE verfügt, muss über 2 Netzteile verfügen. Mit dieser Vorgabe soll die Ausfallsicherheit der Geräte erhöht werden.<sup>80</sup>

## 7.3 Anwendung von OPTOCORE

Die Anwendungsbereiche von OPTOCORE sind sehr vielfältig. Eingesetzt wird es weltweit bei Großveranstaltungen, Konzerten und im Rundfunk. Weiterhin erfolgte auch die Verwendung im Bereich Festinstallationen. Die technischen Eigenschaften des Audionetzwerks sind der hauptsächliche Grund für die weitverbreite Nutzung von OPTOCORE. Beispiele für eine Anwendung sind die Olympischen Winterspiele in Vancouver 2010, der 20. Weltjugendtag in Köln, die „Viva la Vida“ Tour der Band Coldplay, sowie der Eurovision Song Contest 2008 in Serbien. Bei diesen Veranstaltungen wurde jeweils ein hohes Maß an Sicherheit und ein schnelles Netzwerk Wert gelegt. Auch 2012 setzen die Techniker von Coldplay auf das bewerte OPTOCORE bei einem Konzert in Hannover. Bei dieser Veranstaltung gab es 3 getrennte Bühnen, welche mittels OPTOCORE mit dem Monitorplatz und dem FOH verbunden waren. Zu Einsatz kamen als Mischpulte im FOH eine DiGiCo SD7 und im Monotorbereich eine Avid Profile. Die digitalen Signale für die Mischpulte lieferten 2 SD-Racks, 1 SD-Rack Mini sowie ein OPTOCORE LX4AP. Da DiGiCo OPTOCORE als Verbindung zwischen Stagebox und Mischpult nutzt, kam das Netzwerk auch für eine Einbindung des Monitorplatzes und der Beschallungsanlage genutzt. Für eine spätere Bearbeitung und ggf. Veröffentlichung wurden 64 Audiokanäle mit einem MADI Recorder aufgezeichnet, welche über einen digitalen Signalwandler ebenfalls in den OPTOCORE Ring eingebunden war.<sup>81, 82</sup>

---

<sup>79</sup> Webseite OPTOCORE – URL: <http://www.optocore.com/products/Outstandingfeatures.html> [Stand: 9. Aug. 13]

<sup>80</sup> Broschüre „The Network“ OPTOCORE S. 2

<sup>81</sup> Webseite Synthax GmbH – URL: <http://www.synthax.de/de/optocore-referenzen.html> [Stand: 11. Aug. 13]

<sup>82</sup> Webseite Eventelevators – URL: <http://www.eventelevators.de/reportagen/22-reportagen/1775-video-coldplay-und-die-unsichtbare-buehne> [Stand: 11. Aug. 13]

## 8 RAVENNA

### 8.1 Einleitung

Ravenna ist eines der neusten Netzwerke im Bereich digital Audio auf dem Markt. Es wurde im Hause ALC Network, einer Tochtergesellschaft von LAWO, entwickelt. Das Audionetzwerk wurde 2010 erstmals unter dem Namen „Real-time Audio Video Enhanced Nextgeneration Networking Architecture“, kurz Ravenna, vorgestellt. Der eigentliche Zielmarkt des Netzwerkes ist der Bereich Rundfunk, in welchen bereits der Mutterkonzern LAWO etabliert ist. Auf Grund der Eigenschaften von Ravenna ist der Einsatz in weiteren Bereichen denkbar.<sup>83</sup>

Das Netzwerk gehört, wie auch beispielsweise Dante und EtherSound, zu den „Audio-over-Ethernet“-Netzwerken und nutzt die bewerte IP-basierende Technik als Kommunikationsbasis. Es arbeitet somit auf Basis der dritten Schicht des OSI-Modells. Die Geräte verfügen über 2 RJ45 Anschlüsse, welche den Aufbau eines redundanten Netzwerkes ermöglichen. Es wurde für den Aufbau von Ravenna keine Topologie festgelegt und es können außerdem vorhandene Netzwerkstrukturen genutzt werden. Für eine Übertragung genügt bereits ein Netzwerk mit einer Geschwindigkeit von 100Mbit/s. Jedoch wird auch bei Ravenna eine verfügbare Übertragungsgeschwindigkeit von 1Gbit/s angenommen. Weiterhin gilt das Netzwerk als ein sehr latenzarmes Audionetzwerk, welches Übertragungen von Audio, Video und anderen Mediendaten in Echtzeit erlaubt. Da Ravenna auch Übertragungen über das Internet ermöglicht, ist die Latenzzeit nicht generell festgelegt und wie bei Dante an allen Geräten gleich. Für den Live-Bereich wird eine kurze Latenz erzielt und für die Übermittlung via World Wide Web ist die durch die langen Übertragungswege entstehende Latenz ausreichend. Das Audionetzwerk legt selbst keine feste Kanalzahl fest, diese wird von den Hardwareherstellern bestimmt. Ein Vorteil von Ravenna gegenüber anderen Standards ist die lizenzfreie Nutzung der Technologie für Firmen, welche Komponenten mit Ravenna Schnittstellen produzieren. Derzeit nutzen rund 22 Hersteller eine Lizenz von Ravenna. Dazu gehören u.a. die Hersteller DirectOut Technologies, Digigram, Neumann.Berlin, Schoeps und natürlich LAWO.<sup>84</sup>

---

<sup>83</sup> Production Partner Ausgabe 3/2013 S. 106 ff.

<sup>84</sup> Production Partner Ausgabe 3/2013 S. 106 f.

Die Entwickler von Ravenna gaben an, dass mit dem Netzwerk eine Übertragung bis zu 500 Kanäle unkomprimiert kein Problem ist. Diese Anzahl, auch eine Höhere, ist dabei von der Abtastrate, -frequenz und der verfügbaren Übertragungsgeschwindigkeit abhängig. Unterstützt werden Sampleraten bis 32bit und –frequenzen bis 192kHz. Die Übertragung der Daten erfolgt im Netzwerk bidirektional. Ein festgelegter Bestandteil der Definition von Ravenna ist u.a. die Erstellung der verwendeten Medien-Clock, sowie der generelle Aufbau des Signalstroms. Weiterhin ist die Verwaltung der Verbindungen, sowie der angeschlossenen Geräte festgelegt. Neben der Übertragung von Audiosignalen, wurde Ravenna auch für die Übermittlung von Video- und weiteren Medieninhalten entwickelt. Weiterhin wurde bei der Erarbeitung des Netzwerkes auf eine Kompatibilität mit dem neuen Standard AES-X192 der Audio Engineering Society geachtet.<sup>85</sup>

## 8.2 Technische Merkmale

### Topologie

Das Audionetzwerk Ravenna verfügt über keine feste Topologie. Das Netzwerk kann dadurch einfach in eine vorhandene Netzwerkstruktur integriert werden. Ist kein Netzwerk vorhanden, kann eine Mischung der Topologien Stern und Daisy-Chain genutzt und in verschiedenen Varianten kombiniert werden.

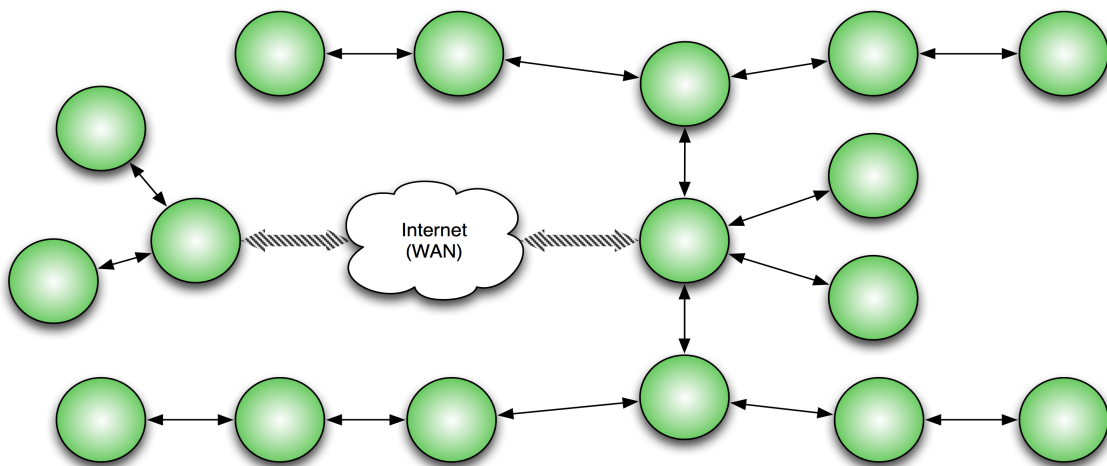


Abbildung 23: Schema gemische Topologie

<sup>85</sup> Production Partner Ausgabe 3/2013 S. 106 ff.



Außerdem kann ein weit entferntes Ravenna Teilnetzwerk, z.B. ein Funkhaus einer Hörfunkanstalt über das Wide Area Network (WAN) in ein anderes Netzwerk beispielsweise einer Großveranstaltung eingebunden werden. Voraussetzung ist dafür eine stabile Internetverbindung. Die vorangegangene Grafik verdeutlicht die freie Wahl der Topologie eines Ravenna Audionetzwerks.

### **Latenz und Synchronisation**

Für das digitale Audionetzwerk Ravenna sind im Standard keine genauen Latenzzeiten definiert, da es für einen vielseitigen Einsatz konzipiert wurde. Findet das Netzwerk im Livebetrieb Anwendung und verbindet den Bühnenbereich mit den Saal- und Monitor-mischpulten werden Verzögerungszeiten von weniger als 1ms erzielt. Dabei können bis zu 128 Kanäle bei einer Abtastung von 96kHz und 24bit übertragen werden ohne dass diese Zeit überschritten wird. Da die Latenz im Bereich Rundfunk eine untergeordnete Rolle spielt, ist die Vernetzung verschiedener Stationen auch über Internet mit mehreren Sekunden Verzug möglich und mit dem Standard von Ravenna vereinbar. Die Nutzung beider Anwendungsfälle zu gleichen Zeit ist mit dem Netzwerk ebenfalls realisierbar, da die Latenzzeit für jeden einzelnen Datenstrom vom Netzwerk verwaltet wird.<sup>86</sup>

Die Synchronisation der im Ravenna Netzwerk befindlichen Geräte erfolgt mit dem Protokoll „Precision Time Protocol IEEE1588-2008“, kurz PTPv2. Dieses Protokoll wird eigentlich in der Informationstechnik zur Synchronisation von Uhren verwendet. Ravenna verschickt somit im Datenstrom zu den Datenpaketen einen Zeitstempel. Da dieses Protokoll sehr exakt mittels Zeitstempel arbeitet, dient dieser Stempel in den Geräten als Taktgeber, woraus jedes Gerät für sich einen eigenen Takt beispielsweise 44.1 kHz erstellt. Die Übertragung eines Taktsignals auf Basis von Wordclock ist über das Internet nicht realisierbar. Der Zeitstempel wird von einem Gerät, dem Master erstellt und alle anderen Geräte nutzen diesen Stempel. Damit die verschickten Datenpakete in der richtigen Reihenfolge verarbeitet werden, erhält jedes Paket diesen Zeitstempel. Das gleiche Verfahren wird für die Datenübertragung über das Internet verwendet. Damit ist eine eindeutige, zeitliche Sortierung möglich. Das Mastergerät erstellt den Zeitstempel intern oder bei Nutzung des Bereiches WAN über ein Global Positioning System (GPS) - Signal bzw. einem Zeitgeber aus dem Internet.<sup>87, 88</sup>

---

<sup>86</sup> Herstellerwebseite Ravenna – URL: <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/features/latency.html>

[Stand: 24. Jun. 2013]

<sup>87</sup> Production Partner Ausgabe 3/2013 S. 108

## Konfiguration und Routing

Vorschriften für die Art und Weise einer Konfiguration der Geräte und des Netzwerks ist im Standard Ravenna nicht festgelegt. Es muss jedoch eine Möglichkeit bestehen, die Abtastrate und –frequenz einzustellen. Über die Abtastung 16bit bei 48kHz muss jedes Gerät verfügen, andere Einstellungen sind optional. Für die Erstellung eines redundanten Netzwerks sollten die Geräte über 2 Schnittstellen verfügen.<sup>89</sup>

Die eindeutige Adressierung der Geräte erfolgt mittels IP-Adresse. Die Verteilung der Adressen kann über 2 Wege erfolgen. Wird Ravenna in ein bestehendes Netzwerk eingebunden, in welchem die Verteilung der IP-Adressen automatisch mittels DHCP durch vorhandene Geräte, z.B. einem Server, erfolgt, erhalten die Ravenna Geräte durch dieses Gerät ihre eindeutige Adresse. Werden ausschließlich Ravenna Geräte in einem Netzwerk genutzt, findet der Mechanismus „zeroconf“ Anwendung. Dabei werden die nötigen IP-Adressen und sonstigen Geräteeinstellung voll automatisch im Netzwerk verteilt. Die weitere Konfiguration und das Routing der Kanäle erfolgt über eine geräteeigene Weboberfläche. Die Oberflächen der Geräte werden über ihre IP-Adressen aufgerufen. Die folgende Grafik zeigt die benötigte Weboberfläche, welche zur Einstellung der Geräte genutzt wird.<sup>90</sup>

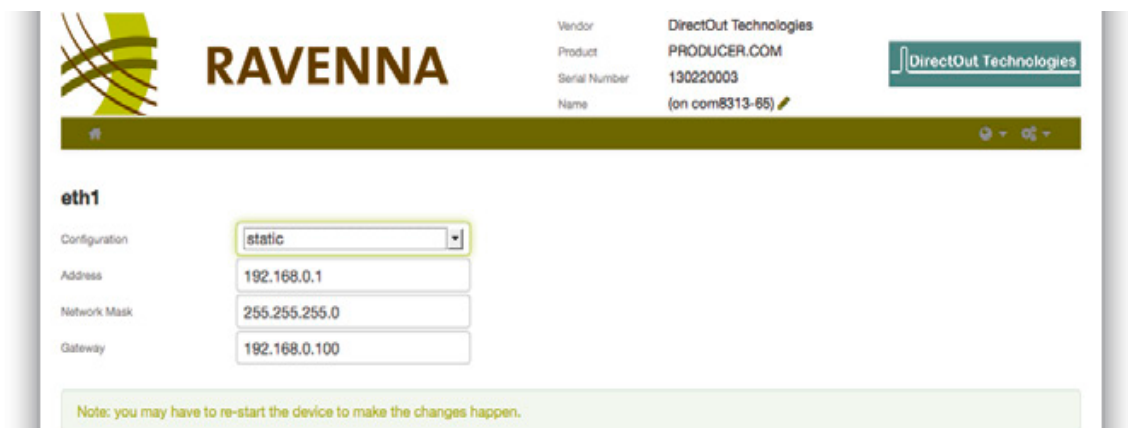


Abbildung 24: Ravenna Weboberfläche des D.O.TEC PRODUCER.COM

<sup>88</sup> Herstellerwebseite Ravenna – URL: <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/technology-overview.html> [Stand: 24. Jun. 2013]

<sup>89</sup> Herstellerwebseite Ravenna – URL:

<http://ravenna.alcnetworx.com/technology/features/configuration.html> [Stand: 25. Jun. 2013]

<sup>90</sup> Herstellerwebseite Ravenna – URL: <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/technology-overview.html> [Stand: 25. Jun. 2013]

## Sonstige Merkmale

Das Audionetzwerk Ravenna ist ein sehr offenes Netzwerk und regelt viele Dinge, z.B. verfügbare Kanalzahlen, Abtastraten und Latenzzeiten, nur sehr allgemein. Dadurch entstehen bei den verschiedenen Anwendern unterschiedliche Nutzerprofile. Der Hersteller Schoeps stellt an seine Ravenna-Schnittstelle an einem Mikrofon andere Anforderungen als ein Hersteller der Ravenna als digitales Multicore in einem Tonmischpult benutzt. Durch die unterschiedlichen Anwendungsbeispiele und Anforderungen sind die entstehenden Nutzerprofile nicht miteinander kompatibel. Um eine Kompatibilität der Hardware verschiedener Hersteller zu gewährleisten, wurden verschiedene Nutzerprofile von den Entwicklern erstellt und mit bestimmten Merkmalen für die jeweilige Anwendung versehen. Werden diese Profile von den Hardwareentwicklern in ihren Geräten integriert, können diese Geräte, auch herstellerübergreifend, mit einander arbeiten. Die Nutzung bzw. Integration verschiedener Nutzungsprofile innerhalb einer Hardware sind in Ravenna möglich und vorgesehen. Die Einstellung der Profile erfolgt bei der Konfiguration des Geräts. Die nachfolgende Grafik veranschaulicht die notwendigen Bestandteile, welche ein Gerät mit einer Schnittstelle für Ravenna besitzen muss.<sup>91, 92</sup>

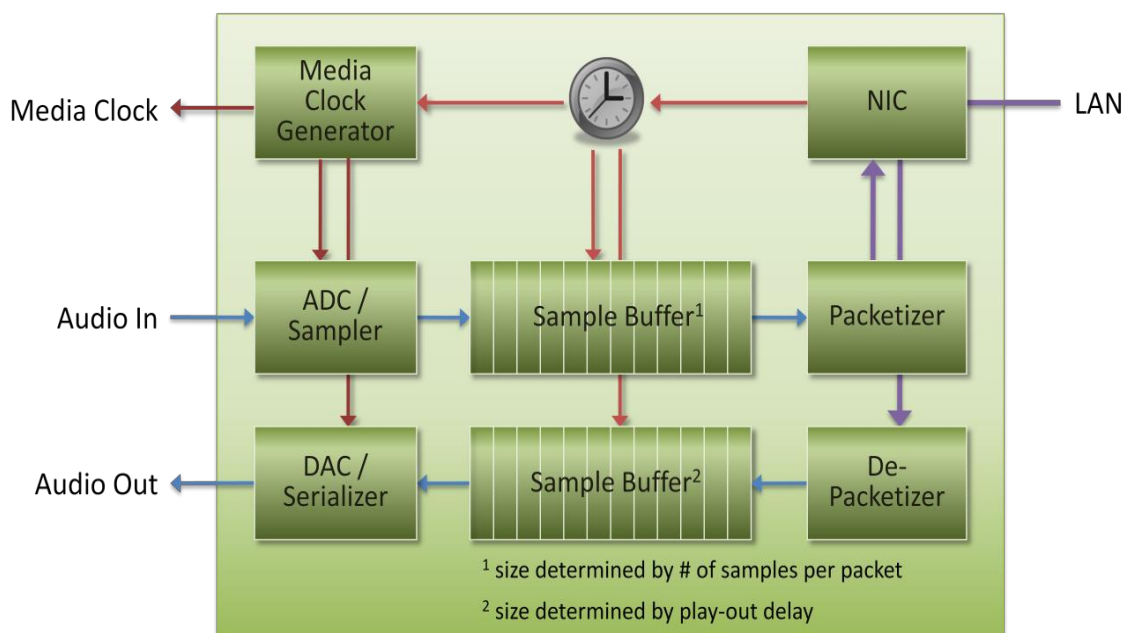


Abbildung 25: Komponenten eines Ravenna Geräts

<sup>91</sup> Production Partner Ausgabe 3/2013 S. 106 ff.

<sup>92</sup> Herstellerwebseite Ravenna – URL: <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/technology-overview.html>  
[Stand: 25. Jun. 2013]

Weiterhin verfügt Ravenna zur Sicherung der notwendigen Bandbreite über den QoS-Mechanismus (Quality of Service). Damit erhalten alle Dienste im Netzwerk eine bestimmte Priorität und Bandbreite. Durch diesen Mechanismus wird sichergestellt, dass für die Übertragung der Ravenna Datenströme eine ausreichende Qualität und Geschwindigkeit zur Verfügung steht. Die im Netzwerk verwendeten Netzwerkkomponenten, welche für die Signalverteilung zuständig sind, müssen diesen Mechanismus ebenfalls beherrschen.<sup>93</sup>

### 8.3 Anwendung von Ravenna

Das Audionetzwerk Ravenna wird derzeit vor allem im Bereich Rundfunk eingesetzt. Der letzte große Einsatz des Netzwerkes erfolgte beim diesjährigen 34. Deutschen Evangelischen Kirchentag in Hamburg. Dort wurde es vom Norddeutschen Rundfunk, kurz NDR, als Audionetzwerk zu Verteilung der benötigten Signale eingesetzt. Weiterhin wurde auf Technik der Firma LAWO gesetzt. Auf Grund des medialen Interesses musste eine Vielzahl an Studios, Hörfunkarbeitsplätze und diverse Übertragungswägen (Ü-Wägen) mit den verschiedensten Signalen versorgt werden, welche bei bis zu 12 gleichzeitigen Veranstaltungen entstanden. Weiterhin wurden diverse Hörfunkanstalten über das Internet eingebunden. Der Grund für den Einsatz von Ravenna war einerseits die Möglichkeit die vorhandene Netzwerktechnik und -struktur des Veranstaltungsortes nutzen zu können und andererseits waren die Techniker der verschiedenen Rundfunkanstalten bereits mit den Mischpulten der Firma LAWO vertraut und teilweise auch in den Ü-Wägen verbaut.<sup>94</sup>

Weitere Einsatzmöglichkeiten ergeben sich im Live- oder Studiobetrieb. Hierbei wird Ravenna als digitales Multicore zwischen Stagebox bzw. den Analog/Digital-Wandlern und dem Mischpult bzw. Aufnahmegeräten genutzt. Die Kapazität, Geschwindigkeit und Vielfältigkeit des Netzwerkes ermöglichen diese Einsatzgebiete. Dabei spielt die Fähigkeit der Nutzung unterschiedlicher Latenzzeiten bei der Nutzung verschiedener Bearbeitungs- und Sendewege eine große Rolle.<sup>95, 96</sup>

---

<sup>93</sup> Herstellerwebseite Ravenna – URL: <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/technology-overview.html>  
[Stand: 24. Jun. 2013]

<sup>94</sup> Webseite LAWO – URL: [http://www.lawo.de/de/aktuell/news/news-detail/soviel\\_du\\_brauchst.html](http://www.lawo.de/de/aktuell/news/news-detail/soviel_du_brauchst.html)  
[Stand: 25. Jun. 2013]

<sup>95</sup> Webseite Ravenna, Bereich Presse – URL:  
[http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/Teldex\\_Vienna\\_Philharmonic\\_Summer\\_Night\\_Concert\\_2013-07.pdf](http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/Teldex_Vienna_Philharmonic_Summer_Night_Concert_2013-07.pdf)

## 9 RockNet

### 9.1 Einleitung

Das Audionetzwerk RockNet ist zusammen mit dem MediorNet eines der leistungsfähigen Netzwerke auf dem Markt. Entwickelt wurde es ursprünglich durch das Unternehmen Media Numerics. Die öffentliche Vorstellung erfolgte 2004. Vom Hersteller Riedel Communications wurde Media Numerics 2008 übernommen und das Audionetzwerk RockNet in die bestehende Produktpalette integriert. RockNet steht als Einschubkarte für die Mischpulte der Firmen Soundcraft und Yamaha zur Verfügung. Außerdem bietet Riedel verschiedene speziell für RockNet entwickelte Geräte. Darunter befinden sich Analog/Digital-Wandler und Netzkonverter. In einem RockNet Netzwerk können bis 160 Kanäle bei einer Abtastfrequenz von 48kHz und einer Abtastrate von 24bit übertragen werden. Bei der Verdoppelung der Frequenz auf 96kHz stehen 80 Kanäle zur Verfügung. Diese Angaben beziehen sich auf die Version RockNet 300. Bei der Version RockNet 100 stehen die gleichen technischen Eigenschaften zur Verfügung, lediglich die Kanalzahl ist auf 80 Kanäle begrenzt. Beide Versionen sind untereinander kompatibel. Die verschiedenen Komponenten werden mittels Netzkabel der Category 5 oder höher in einem Ring verbunden. Für die Übertragung über große Distanzen bietet RockNet einen Konverter Cat. 5 - Glasfaser an.<sup>97, 98</sup>

---

<sup>96</sup> Webseite Ravenna, Bereich Presse – URL: [http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/Chandos-Horus\\_Final\\_RAVENNA.pdf](http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/Chandos-Horus_Final_RAVENNA.pdf)

<sup>97</sup> Anfrage bei Riedel – Schragmann Karsten

<sup>98</sup> Broschüre Riedel RockNet S.1 ff.

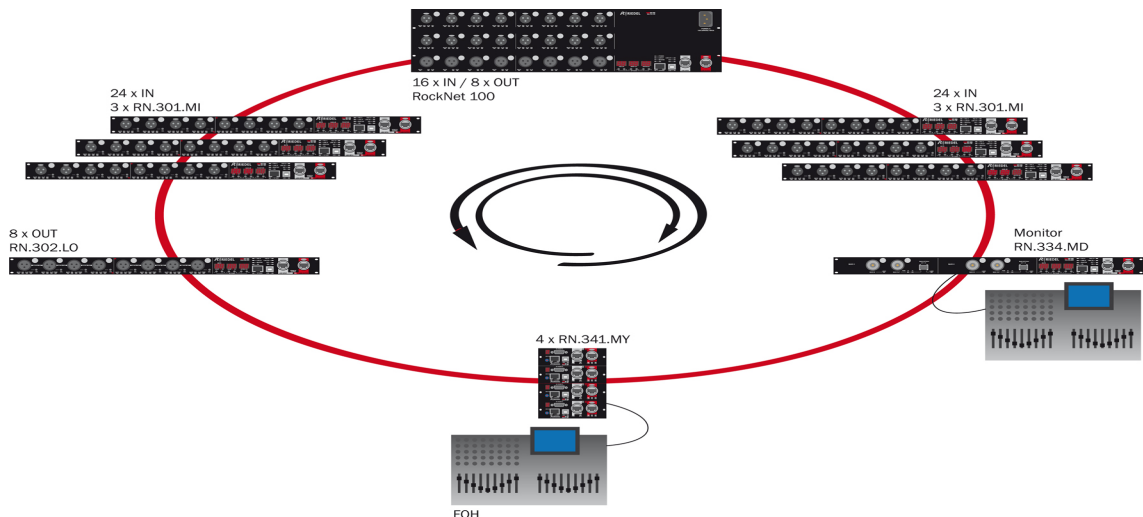


Abbildung 26: Netzwerktopologie RockNet

In einem Riedel RockNet Netzwerk können maximal 99 Geräte eingebunden werden. Daraus resultieren maximal 768 Ausgangskanäle. Neben den analogen Ein- und Ausgangssignalen können AES/EBU Signale, sowie AES10 (MADI) Ströme verarbeitet werden. Das Riedel RockNet ist auf Grund der sehr geringen Latenzzeiten ein digitales „Echtzeitnetzwerk“. Ein weiterer großer Vorteil des Netzwerkes ist die Funktion „Independent Gain“. Diese Funktion ermöglicht es an bis zu 8 Mischpulten innerhalb eines RockNet-Netzwerkes die individuelle Gainsteuerung an jedem Mischpult. Die Arbeitsweise dieser Funktion wird im nachfolgenden Kapitel genauer beschrieben.<sup>99</sup>

## 9.2 Technische Merkmale

### Topologie

Das Netzwerk RockNet arbeitet, wie auch OPTOCORE, ausschließlich mit der Netzwerktopologie „Ring“. Jedes Gerät verfügt über 2 RJ45 Schnittstellen, welche für einen Aufbau im Ring notwendig sind. Diese Schnittstellen sind zudem farblich, der Eingang grau und der Ausgang rot, gekennzeichnet. Verkabelung erfolgt von Out nach IN. Durch diesen Aufbau verfügt das Netzwerk über ein redundantes Netzwerk, welches

<sup>99</sup> Broschüre Riedel RockNet S. 5, 13

sich im Fehlerfalle funktionsfähig bleibt. Die Abbildung 26 zeigt den grundlegenden Aufbau des Netzwerks.<sup>100</sup>

### **Latenz und Synchronisation**

Die Synchronisation aller Geräte erfolgt durch das Mastergerät im Netzwerk. Dieses Gerät ist frei wählbar, da jeder RockNet Gerät über die Möglichkeit verfügt, einen Takt zu erzeugen. Das Mastergerät taktet alle anderen Geräte über das RockNet Netzwerk. Neben den eigentlichen Master, dem Primären Master, gibt es einen weiteren Sekundären Master, welche dann zum Einsatz kommt, sollte der Primäre Master ausfallen. Dadurch bietet das Netzwerk auch in dem Punkt Synchronisation eine Redundanz an. Die Geräte zeigen, durch das Leuchten einer LED, ihre Synchronisation an. Bei der Umschaltung zwischen dem Primären und Sekundären Master wird das Netzwerk stumm geschaltet, um eine eventuelle Ausgabe von Störsignalen zu verhindern. Neben der Erzeugung einer internen Wordclock, ist die Taktung des Mastergerätes über einen externen Wordclock Eingang möglich. Außerdem ist die Synchronisation via AES/EBU möglich, wenn ein entsprechendes Gerät verbaut ist und als Master arbeitet. Die RockNet Geräte können auf die Abtastfrequenzen 48 bzw. 96 kHz getaktet werden. Die Übergabe des Taktsignals an externe Geräte ist über einen Wordclock-Ausgang an den von Riedel angeboten Einschiebkarten vorhanden.<sup>101</sup>

Das Netzwerk RockNet verfügt bei der Übertragung über sehr geringe Latenzzeiten. Diese werden bei einer reinen digitalen Übertragung mit 400µs vom Signaleingang bis zum Signalausgang angegeben. Dabei haben die Geräte selbst eine Latenz von 150µs. Die Signalübertragung von einem analogen Eingang bis zu einem analogen Ausgang benötigt inkl. Wandlung nur 850µs. Diese Latenzzeiten werden bei einer Abtastfrequenz von 48kHz und einer Abtastrate von 24bit angegeben.<sup>102</sup>

### **Konfiguration und Routing**

Die eindeutige Adressierung der im Netzwerk befindlichen Geräte erfolgt eigenständig vom Netzwerk. Dabei erhalten die Geräte jeweils eine eindeutige ID, welche auch für eine spätere Konfiguration über eine Software nötig ist. Die Geräte-ID wird von jedem Teilnehmer über ein kleines Display angezeigt. Die nächste Grafik zeigt die Bedien-

---

<sup>100</sup> Webseite Riedel RockNet – URL: <http://www.riedel.net/de->

[de/products/signaltransportprocessing/rocknetdigitalaudionetwork/about.aspx](http://www.riedel.net/de-products/signaltransportprocessing/rocknetdigitalaudionetwork/about.aspx) [Stand: 30. Juni 12]

<sup>101</sup> Riedel RockNet 300 Operation Manuel S. 26 ff.

<sup>102</sup> Broschüre Riedel RockNet S. 4

oberfläche eines RockNet Geräts. Diese Oberfläche wird für eine Konfiguration ohne einen Computer benötigt.



Abbildung 27: Bedieneinheit Riedel RockNet RN.301.MI

Die eine Konfiguration ohne Computer bietet die Geräte 3 Einstellungsparameter. Im Options-Modus wird der Betriebsmodus Master/Slave ausgewählt. Hierbei ist zu beachten, dass es in einem Netzwerk nur ein Mastergerät gibt. Außerdem werden über diesen Modus die Synchronisationsquelle und die Abtastrate gewählt. Die Betriebstemperatur zeigt dieser Modus ebenfalls an. Über den Default-Modus kann die Geräte-ID verändert werden die Zuweisung vorhandener Kanalblöcke erfolgen. Jedes RockNet Gerät verfügt physisch über 2 Blöcke. Die Kanalblöcke umfassen jeweils 4 Einzelkanäle. Wird eine Zuordnung einzelner Kanäle benötigt, besitzt jedes Gerät über den Channel-Modus. Dieser Modus steuert alle einstellbaren Parameter des ausgewählten Kanals. Damit die Modi nicht verwechselt werden, erfolgt beispielsweise die Auswahl des Channel-Modus durch einen Knopf neben dem physischen Kanal.<sup>103</sup>

Neben der eben beschriebenen Konfigurationsmethode, ist Diese auch mittels Software möglich. Dazu wird ein PC über eine Netzwerkbuchse RJ45 mit einem beliebigen RockNet Gerät verbunden. Weiterhin wird die Software „RockWorks 2.0“, über welche die Einstellungen vorgenommen werden, benötigt. Mit dieser Software kann jedes Gerät im RockNet gesteuert werden. Sie bietet eine Auflistung aller Geräte, ihrer Typen, sowie die Status der Geräte. Weiterhin wird nach Auswahl eines Geräts, der gesamte einstellbare Funktionsumfang dargestellt. Einen Einblick in die Software gewährt die kommende Abbildung.<sup>104</sup>

<sup>103</sup> Broschüre Riedel RockNet S. 5

<sup>104</sup> Broschüre Riedel RockNet S. 5, 13



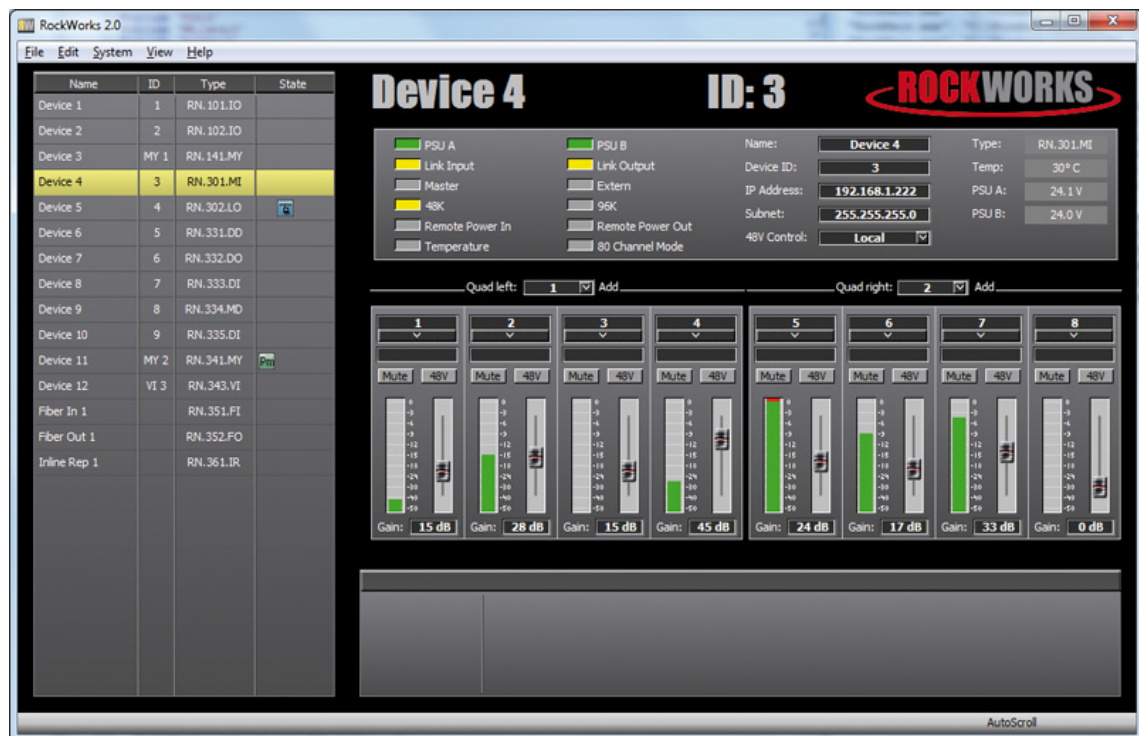


Abbildung 28: Riedel RockNet RockWorks Bedienoberfläche

### Sonstige Merkmale

Für eine Unabhängige Steuerung der Mikrofon Vorverstärkung an verschiedenen Mischpulten, verfügt das Netzwerk über die Funktion „Independent Gain“. Durch diese Funktion können an bis zu 8 Geräten unabhängige Gain-Einstellungen vorgenommen werden. Für die Nutzung dieser Funktion wird im Netzwerk ein Mischpult fest gelegt, welches den „echten“ Gain im gesamten Netzwerk regelt. Die weiteren Teilnehmer werden als Slave bezeichnet und arbeiten mit den Gain-Einstellungen des Masters. Ist eine Anpassung an irgendeinem Mischpult notwendig, wird diese Änderung an alle Mischpulte weiter gegeben und entsprechend automatisch intern angepasst. Die Funktion „Independent Gain“ muss über die Software RockWorks aktiviert werden. Die Nutzung der Funktion steht auch für Mischpulte zur Verfügung, welche über keine direkte RockNet Einbindung verfügen. Diese werden mit dem Gerät RockNet RN.334.MD verbunden und verfügen damit auch über „Independent Gain“.<sup>105</sup>

<sup>105</sup> Broschüre Riedel RockNet S. 8

Alle RockNet Geräte der Firma Riedel verfügen zur Erhöhung der Ausfallsicherheit über 2 redundante Netzteile. Bei diesem Aufbau schaltet das Gerät beim Ausfall eines Netzteils unterbrechungsfrei auf das zweite Netzteil um.<sup>106</sup>

### 9.3 Anwendung von RockNet

Auf Grund der Leistungsfähigkeit des Riedel RockNets, vor allem im Zusammenhang mit dem Multimedia-Netzwerk MediorNet, wird es sehr häufig bei großen Liveanwendungen im Bereich Show eingesetzt. In dieser Konstellation können unzählige Audio und bis zu 12 hochauflösende Fernsehsignale, sowie Interkom und weitere Daten übertragen werden. Ein Beispiel für eine Anwendung war der Eurovision Song Contest 2012. In Baku wurde die Signalverteilung durch das MediorNet vorgenommen. Der große Vorteil war dabei, dass alle anfallenden Signale über das Netzwerk zu den gewünschten Positionen übertragen werden konnte. Im Bereich RockNet wurden mehrere Einschubkarten für Yamaha Mischpulte, sowie 12 Input- und 17 Output-Geräte verbaut. Ein weiter Grund für den Einsatz der Riedel Technik war die Redundanzfähigkeit des Netzwerks. Gerade im Live-Bereich ist ein Redundanzkonzept notwendig.<sup>107</sup>

---

<sup>106</sup> Broschüre Riedel RockNet S. 5

<sup>107</sup> Webseite Riedel RockNet – URL:

<http://www.riedel.net/Company/News/LatestNews/PressArticle/tabid/121/Article/1699/language/de-DE/RockingBakuRiedelMediorNetundArtistbeimEurovisionSongContest.aspx> [Stand: 1. Jul. 13]

## 10 Fazit

Im Bereich der digitalen Audionetzwerke gab es seit den ersten Entwicklungen Ende des 20. Jahrhunderts sehr große Fortschritte und Verbesserung in allen Bereichen. Neben der technischen Weiterentwicklung der Technik, gab es auch im Bereich der Informationstechnik große Fortschritte. Die Erweiterung der Netzwerkkapazität und –geschwindigkeit ist ein wichtiger Punkt, welcher sich auch auf den Bereich der digitalen Audionetzwerke auswirkt. Anfangs entwickelten mehrere Hersteller ihre eigenen digitalen Netzwerklösungen. Diese Audionetzwerke können nur mit Geräten der jeweiligen Hersteller genutzt werden und erzielen durch die Entwicklung eigener Übertragungstechnologien geringe Latenzzeiten, welche für eine Echtzeitübertragung nötig sind. Ziel der digitalen Netzwerke ist es, die analogen Lösungen zu ersetzen und dafür ist neben der Kapazität, vor allem eine geringe Verzögerung der Signale wichtig. Durch die herstellerspezifischen Netzwerke wird man als Endkunde und Nutzer sehr stark von dem jeweiligen Unternehmen abhängig. Die Entwicklungskosten werden von den Firmen auf die Produkte aufgeschlagen und somit sind diese Komponenten häufig sehr preisintensiv. Durch die jeweiligen Monopole der Hersteller auf ihr Netzwerk und ihre Geräte fehlt für eine Regulierung der Verkaufspreise die Konkurrenz. Da diese herstellereigenen Netzwerke durch keine Organisation zertifiziert sind und auch keinem Standard unterliegen, ist die Verwendung verschiedener Audionetzwerke innerhalb einer Anwendung bzw. Installation kaum möglich. Gründe dafür sind die unterschiedlichen technischen Grundlagen und Eigenschaften der digitalen Audionetzwerke, sowie unterschiedliche Übertragungstechniken. Einige Hersteller verwenden Glasfasernetze, andere Unternehmen arbeiten mit coaxialen Verbindungen oder nutzen die bewerte Ethernet Technologie aus dem Bereich der Informationstechnik. Wiederum nutzen weitere Firmen zur Übertragung der Signale standardisierte Netzkabel Cat.5 aber der Signalaufbau wird mit einem herstellereigenem Protokoll realisiert. Eines der ersten herstellerübergreifenden Netzwerke war das Audionetzwerk Multichannel Audio Digital Interface. Dieses Netzwerk wurde von verschiedenen Herstellern gemeinsam entwickelt, es unterliegt einem Standard der AES und wird heutzutage noch von vielen Herstellern genutzt. Da die Übertragung der Signale zwischen den Komponenten über Glasfaserleitungen erfolgt, ist der Aufwand für den Aufbau eines solchen Audionetzwerks relativ hoch und die Nutzung vorhandener Strukturen unmöglich. Die Entwicklungen der vergangenen Jahre im Bereich „digital Audio“ erfolgte fast ausschließlich im Segment „Audio-over-Ethernet“. Die Entwicklung neuer herstellereigener Netzwerke ging nahe zu vollständig zurück. In Anwendungsbereich fehlt für eine neue Entwicklung der Markt. Lediglich einige Hersteller haben ihre Technologie an Entwicklungen im Bereich Kommunikationstechnik angepasst und verbessert. Ein Beispiel dafür ist der Hersteller EtherSound, welcher sein Audionetzwerk an neu entstandene Übertragungsgeschwindigkeiten anpasste. Ein Großteil der bisher bewerteten Audio-

netzwerke verlieren immer mehr an Bedeutung. Der Trend der letzten Jahre zeigte, dass viele Hersteller von Hardware im Bereich „digital Audio“ auf die Technologie „Audio-over-Ethernet“ setzen. Dabei kommen mittlerweile sehr häufig 2 sehr junge Netzwerke aus dem Bereich „Audio-over-IP“ zum Einsatz. Die Netzwerke Dante und Ravenna haben sehr stark an Akzeptanz und Reichweite gewonnen. Weiterhin haben sich Nutzerzahlen dieser Netzwerke in den vergangenen Jahren sehr stark entwickelt. Allein die Lizenznehmer der Audionetzwerks Dante der Firma Audinate hat sich innerhalb eines Jahres mehr als verdreifacht. Weiterhin wird Dante mittlerweile sehr häufig bei großen und kleinen Veranstaltungen eingesetzt. Ein Grund für die rasante Entwicklung der Netzwerke ist die späte Veröffentlichung. Bei der Entwicklung dieser jungen Netzwerke wurden viele Vor- und Nachteile der bis dahin bekannten Netzwerklösungen berücksichtigt. Die Hauptaugenmerke bei der Entwicklung von Dante und Ravenna lagen auf einer einfachen vollautomatischen Konfiguration, einer Möglichkeit das Netzwerk redundant aufzubauen und die Integrationsmöglichkeiten in bestehende Netzwerkstrukturen. Neben der Verwendung von Ravenna und Dante, werden weiterhin sehr häufig die Netzwerke RockNet der Firma Riedel und MADi eingesetzt. Da das Netzwerk RockNet ein Bestandteil der ebenfalls von Riedel entwickelten Netzwerktechnik MediorNet ist, wird es sehr häufig bei großen Veranstaltungen eingesetzt. Da mit MediorNet neben digitalen Audiosignalen auch Signale für eine Intercom, Videosignale und weitere Datensignale übertragen werden können, ist es im Markt fest verankert. Die Übertragungskapazitäten des Netzwerks MediorNet mit über 100 hochauflösenden Videosignalen, vielen Tausenden Audiokanälen ist derzeit einzigartig. Das Audionetzwerk MADi wird derzeit noch von vielen Herstellern genutzt, da es einerseits ein herstellernunabhängiger, zertifizierter Standard ist und andererseits die Kapazität von 64 Audiokanälen für viele Anwendungen ausreichend ist und die Signalübertragung über BNC, Glasfaser oder Cat. 5e erfolgen kann. Weiterhin bieten viele Firmen Geräte mit MADi Schnittstellen an, welche auf Grund des Standards AES10 untereinander kompatibel sind. Dadurch kann das Netzwerk an jeden Anwendungsfall angepasst werden. Auch die einheitliche Steuerung der Geräte über MIDI ist ein großer Vorteil von MADi. Damit können Einstellung an Geräten vorgenommen werden, ohne die Verwendung herstellerspezifischer Software. Trotz der eigentlichen Peer-to-Peer Topologie besteht die Möglichkeit einer Signalsplittung für eine Aufteilung an verschiedene Arbeitsbereiche unter Verwendung einer Signalmatrix. Teilweise wird auch das optische Audionetzwerk OPTOCORE eingesetzt. Die Firma DiGiCo nutzt dieses Netzwerk in einigen Mischpulten für die Verbindung zwischen Pult und Stagebox. Die anschließende Tabelle veranschaulicht die wichtigen Eigenschaften der in dieser Arbeit behandelten digitalen Audionetzwerke. Die angegebenen Daten zu Kanalkapazitäten und Latenz beziehen es sich auch eine Abtastfrequenz von 48kHz, wenn keine andere Angabe erfolgt.

Netzwerk	Netzwerk-technologie	Protokoll	Topologie	Redundanz	Kanal-kapazität	Latenz	Max. Abtastrate	Hardware Hersteller
Aviom Pro64	Ethernet, Glasfaser	hersteller-eigen	Daisy-Chain, Stern	möglich	64 (Sunetz)	< 800µs	192kHz	Aviom
CobraNet	Ethernet / IP, Glasfaser	hersteller-eigen	Peer-to-Peer, Ring, Stern	Ja (Spanning tree)	64 (20bit)	5,33ms	96kHz	Cirrus Logic, weitere
Dante	Ethernet / IP, Glasfaser	IP (UDP)	Daisy-Chain, Ring, Stern	ja	512	150µs	192kHz	Diverse Hersteller
EtherSound	Ethernet / IP, Glasfaser	hersteller-eigen	Daisy-Chain, Ring, Stern	Ja (Spanning tree)	64	100µs	192kHz	Digigram, weitere
MADI	Glasfaser, Koaxial (BNC)	AES10 / MADI	Peer-to-Peer	nein	64	< 2ms	96kHz	Diverse Hersteller
OPTOCORE	Glasfaser	hersteller-eigen	Ring	ja	1024	41,6µs	192kHz	OPTOCORE
Ravenna	Ethernet / IP, Glasfaser	IP (UDP)	Daisy-Chain, Ring, Stern	ja	Keine Festlegung	Live: <1ms	96kHz	Diverse Hersteller
RockNet	Ethernet, Glasfaser	hersteller-eigen	Ring	ja	160	400µs	96kHz	Riedel

Tabelle 2: Übersicht digitaler Audionetzwerke

In den Ersten Jahren des digitalen Zeitalters im Bereich Audioübertragung entstanden für die Anwender der neuen Netzwerke viele Vorteile. Vor allem die zeitliche Ersparnis im Aufbau gegenüber analogen Audionetzen ist für die weitere Entwicklung maßgebend. Auch die Signalqualität über weite Strecken ist um ein vielfaches besser im Vergleich zu einer analogen Übertragung. Nach unzähligen Anwendungen der digitalen Audionetze in verschiedensten Bereichen, stellten sich auch Nachteile der Technologie heraus. Beispielsweise fehlen den Audionetzen, welche mit der Topologie Daisy-Chain arbeiten, Sicherheiten gegen Systemausfall. Da alle Signale über ein Kabel übertragen werden, fällt bei einem Defekt das ganze Netzwerk aus. Bei einer analogen Signalübertragung würde jedoch nur 1 Kanal fehlen. Die Netzwerkstruktur der Topologie Ring besitzt auch einen großen Nachteil. Sie verfügt zwar über ein Redundanzkonzept, aber dafür ist die Verkabelung der Geräte sehr aufwendig und muss strikt nach Herstellervorgaben erfolgen. Außerdem entstehen bei großen Abständen zwischen den Geräten sehr lange Leitungswege, welche wiederum hohen Kosten verursachen. Die Konfiguration der digitalen Netzwerke gestaltet sich teilweise auch sehr schwierig, da jedes Gerät einzeln eingestellt werden muss. Je später die Netzwerke veröffentlicht wurden, desto weniger Nachteile besitzen die Audionetze. Gerade die digitalen Audionetze Dante und Ravenna haben viele der eben aufgeführten Nachteile und Vorteile der bis dahin veröffentlichten Netzwerke aufgegriffen. Gerade der frei wählbare Aufbau des Netzwerks und die vollautomatische Konfiguration der Komponenten zeichnen die neueren Netzwerke aus. Gerade beim Aufbau und der Verbindung der Geräte muss auf keine vorgeschriebene Topologie geachtet werden. Die Einführung verschiedener Redundanzkonzepte wurde auch bereits in die Geräte integriert.

In den vergangenen Jahren hat sich der Bedarf an digitalen Audionetzen mit großen Übertragungskapazitäten für mehr als 64 Kanäle gesteigert. Diese Anforderungen werden teilweise durch die neuesten Audionetze realisiert. Jedoch werden zukünftig neue Anforderungen an die Netzwerke gestellt, welche durch weitere Entwicklungen erfüllt werden müssen. Da die Entwicklung neuer herstellereigener Audionetze sehr aufwendig und kostenintensiv ist, schlossen sich einiger Hersteller zu Organisationen zusammen und entwickelten neue Standards für zukünftige Netzwerke. Ein Beispiel für eine solche Organisation ist die in der Einleitung erwähnte AVnu Alliance. Sie erarbeitet einen Standard namens AVB, welche von den Mitgliedern später bei der Geräteentwicklung berücksichtigt werden soll und damit eine gemeinsame Nutzung der Geräte untereinander ermöglichen soll. Im Standard AVB werden Vorschriften u.a. für die Latenz des Netzwerks, die Kanalkapazitäten und den Aufbau der Datenpakete festgelegt. Da die neuen Netzwerke IP-basierend und kompatibel mit standardisierten Netzwerkgeräten sein sollen. Bisher wurde der Standard AVB noch nicht veröffentlicht. Neben den neuen Geräten, welche nach AVB entwickelt werden, müssen auch die normalen Netzwerkkomponenten, welche innerhalb der Netzwerke verwendet werden,

einige Anforderungen erfüllen. Die Organisation Open Control Architecture Alliance, kurz OCA Alliance, beschäftigt sich ebenfalls mit einem neuen Standard für das Gebiet der digitalen Audionetze. Unter dem Namen AES67 – X192 entwickelt die OCA einen Standard, der die Überwachung und Taktung der Geräte neuer Netze regelt. Weiterhin wird ein Protokoll zur Kommunikation zwischen den Komponenten entwickelt und in den Standard integriert. Wird ein Netzwerk auf Grundlage dieses Standards entwickelt, können Datenpakete des Netzes über das Internet übertragen werden, da die Synchronisation mittels Zeitstempel erfolgt. Das Netzwerk Ravenna nutzt bereits diesen Standard.

Zukünftig werden sich die Entwickler von digitalen Audionetzen vorrangig mit der Signalübertragung auf Grundlage der Informationstechnik beschäftigen, da im Bereich „Audio-over-IP“ eine große Bandbreite für die Signalübertragung zur Verfügung steht. Weiterhin ist es möglich, auf bewährte Technologien aus dem Gebiet der IT zurück gegriffen. Gerade im Bereich der Signalverteilung ist die Entwicklung weit voran geschritten. Die Verteilung der Datenpakete kann gleichzeitig über verschiedene Wege erfolgen. Gerade bei Veranstaltung mit vielen Signalquellen und Ausspielpositionen entsteht ein hoher Kanalbedarf, welche aus Sicherheitsgründen zentral verwaltet werden muss. Notwendig ist das vor allem bei Messeveranstaltungen mit hohen Grundpegeln. Hier muss im Falle einer Evakuierung auf die Beschallungsanlagen der Stände zentral zugegriffen werden um vorgeschriebene Durchsagen hörbar zu machen.

Ein einziges, herstellerübergreifendes Netzwerk, welche lizenzfrei nutzbar und von allen Herstellern genutzt wird, ist vorerst nicht in Sicht. Jedoch sind durch die Standards AVB und AES67 – X192 Grundlagen für den zukünftigen Aufbau eines Netzes geregelt. Viele bekannte Firmen beteiligen derzeit bei beiden Organisationen. Somit werden diese Unternehmen auch auf die Festlegungen zurückgreifen. Mit Sicherheit werden die beiden Netze Ravenna und Dante weiter weltweit an Bedeutung gewinnen und das ein oder andere Netzwerk ablösen.

# Literaturverzeichnis

## Zeitschriften

Bangert, Christiane: Netzwerke: die Qual der Wahl!. In Production Partner Ausgabe 3/2012 (2013).

## Video

Koll, Arthur: Digitale Audio Netzwerke. PIK AG, 2012, Youtube Videomitschnitt [http://www.youtube.com/watch?v=VKIT\\_Glev6I](http://www.youtube.com/watch?v=VKIT_Glev6I), Letzter Aufruf: 19. August 2013.

## Gespräche

Ehrlich, Jan: DirectOut GmbH, Mittweida, Interview, 30. & 31. Juli 2013.

Schragmann, Karsten: Product Manager, RIEDEL Communications GmbH & Co. KG, Interview, 12. Juli 2013.

## Internet

Person, Martin: Schlossfestspiele Schwerin: 41 Mikros auf 18 Fadern. Auf: EventElevator. 2013. <http://www.eventelevator.de/interviews/23-interviews/2858-%20schlossfestspiele-schwerin-shure-ulx-d-dante-timax-2013>, Letzter Aufruf: 25. Juli 2013.

Wilmsmann, Markus: Coldplay und die unsichtbare Bühne. Auf: EventElevator. 2013. <http://www.eventelevator.de/reportagen/22-reportagen/1775-videocoldplay-%20und-die-unsichtbare-buehne>, Letzter Aufruf: 11. August 2013.

Unbekannter Autor: ALC NetworX GmbH. Ravenna. Flexible Configuration, 2013. <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/features/configuration.html>, Letzter Aufruf: 19. Juli 2013.

Unbekannter Autor: ALC NetworX GmbH. Ravenna. Latency, 2013. <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/features/latency.html>, Letzter Aufruf: 19. Juli 2013.

Unbekannter Autor: ALC NetworX GmbH. Ravenna. Technology Overview, 2013. <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/technology-overview.html>, Letzter Aufruf: 19. Juli 2013.



Unbekannter Autor: Arrakis Systems Inc. ARRAKISAARC-NET. AUDIO NETWORKING MADE SIMPLE, 2013, PDF-Dokument.

<http://web.archive.org/web/20111009111558/http://www.arrakis-systems.com/pdfs/aarcnetbrochure.pdf>, Letzter Aufruf: 11. Juli 2013.

Unbekannter Autor: Audinate Pty Ltd. Dante FAQs. Clocking, 2013.

[http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting\\_up\\_dante/clocking/clocking.htm](http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting_up_dante/clocking/clocking.htm), Letzter Aufruf: 25. Juni 2013.

Unbekannter Autor: Audinate Pty Ltd. Dante FAQs. Dante Virtual Soundcard FAQs, 2013.

[http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#dvs/dante\\_virtual\\_soundcard\\_faqs.htm](http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#dvs/dante_virtual_soundcard_faqs.htm), Letzter Aufruf: 26. Juni 2013.

Unbekannter Autor: Audinate Pty Ltd. Dante FAQs. Latency, 2013.

[http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting\\_up\\_dante/latency/latency.htm](http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting_up_dante/latency/latency.htm), Letzter Aufruf: 25. Juni 2013.

Unbekannter Autor: Audinate Pty Ltd. Dante FAQs. Routing, 2013.

[http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting\\_up\\_dante/routing/routing.htm](http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting_up_dante/routing/routing.htm), Letzter Aufruf: 26. Juni 2013.

Unbekannter Autor: Audinate Pty Ltd. Dante FAQs. Switches, 2013.

[http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting\\_up\\_dante/switches/switches.htm](http://dev.audinate.com/kb/webhelp/home.htm#setting_up_dante/switches/switches.htm), Letzter Aufruf: 26. Juni 2013.

Unbekannter Autor: Audinate Pty Ltd. Dante Q&A, London. 2013.

[http://www.audinate.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=99&Itemid=155](http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=99&Itemid=155), Letzter Aufruf: 25. Juni 2013.

Unbekannter Autor: Audinate Pty Ltd. Whitepaper: Audio Networks Past, Present And Future. 2011, PDF-Dokument.

<http://www.audinate.com/images/PDF/Audio%20Networks%20Past%20Present%20and%20Future.pdf>, Letzter Aufruf: 5. August 2013.

Unbekannter Autor: Audio Engineering Society. AES Recommended Practice for Digital Audio Engineering – Serial Multichannel Audio Digital Interface (MADI). 2003, PDF-Dokument. <http://www.iis.ee.ethz.ch/~felber/DataSheets/AES-EBU/aes10-2003.pdf>, Letzter Aufruf: 19. August 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. 6416dio Digital I/O Module. Data Sheet , 2009, PDF-Dokument. [http://www.aviom.com/library/Data-Sheets/90\\_6416dio-Data-Sheet.pdf](http://www.aviom.com/library/Data-Sheets/90_6416dio-Data-Sheet.pdf), Letzter Aufruf: 18. August 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. 6416i Line-Level Input Module. User Guide , 2009, PDF-Dokument. [http://www.aviom.com/library/User-Guides/49\\_6416i-User-Guide.pdf](http://www.aviom.com/library/User-Guides/49_6416i-User-Guide.pdf), Letzter Aufruf: 18. August 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. 6416Y2 A-Net Interface Card. Data Sheet, 2009, PDF-Dokument. [http://www.aviom.com/library/User-Guides/51\\_6416Y2-Card-User-Guide.pdf](http://www.aviom.com/library/User-Guides/51_6416Y2-Card-User-Guide.pdf), Letzter Aufruf: 18. August 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. A Closer Look at A-Net. Comparing Pro16 and Pro64, 2009, PDF-Dokument. [http://www.aviom.com/library/Application-Notes/64\\_A-Closer-Look-at-A-Net.pdf](http://www.aviom.com/library/Application-Notes/64_A-Closer-Look-at-A-Net.pdf), Letzter Aufruf: 18. August 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. A-Net v. Ethernet. Networking Designed for Audio, 2009, PDF-Dokument. [http://www.aviom.com/library/Application-Notes/62\\_A-Net-v.-Ethernet---Networking-Designed-for-Audio.pdf](http://www.aviom.com/library/Application-Notes/62_A-Net-v.-Ethernet---Networking-Designed-for-Audio.pdf), Letzter Aufruf: 18. August 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. Audio Networks. System Design, 2013. <http://www.aviom.com/AviomApplications/AudioNetworks/Design.php>, Letzter Aufruf: 12. Juli 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. Audio Networks. The Basics, 2013. <http://www.aviom.com/AviomApplications/AudioNetworks/Basics.php>, Letzter Aufruf: 12. Juni 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. Aviom Products | Network Devices. ASI A-Net Systems Interface, 2013. <http://www.aviom.com/Aviom-Products-5/Network-Devices-26/ASI-ANet-%20Systems-Interface>, Letzter Aufruf: 13. Juni 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. Aviom Products. Partner Products, 2013. <http://www.aviom.com/AviomProducts/Partner-Products.php>, Letzter Aufruf: 13. Juni 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. Managing Jitter, Wander, and Latency in Digital Audio Networks, 2009, PDF-Dokument. [http://www.aviom.com/library/Application-Notes/63\\_Managing-Jitter-Wander-and-Latency-in-Digital-Audio-Networks.pdf](http://www.aviom.com/library/Application-Notes/63_Managing-Jitter-Wander-and-Latency-in-Digital-Audio-Networks.pdf), Letzter Aufruf: 18. August 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. MH10 Merger Hub. User Guide, 2009, PDF-Dokument. [http://www.aviom.com/library/User-Guides/53\\_MH10-and-MH10f-User-Guide.pdf](http://www.aviom.com/library/User-Guides/53_MH10-and-MH10f-User-Guide.pdf), Letzter Aufruf: 18. August 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. Pro64 Network Manager. User Guide , 2009, PDF-Dokument. [http://www.aviom.com/library/User-Guides/147\\_Pro64-Network-Manager-User-Guide.pdf](http://www.aviom.com/library/User-Guides/147_Pro64-Network-Manager-User-Guide.pdf), Letzter Aufruf: 18. August 2013.

Unbekannter Autor: Aviom Inc. Pro64 Audio Network on the Road with NEP Broadcasting. Case Study, 2009, PDF-Dokument. [http://www.aviom.com/library/Case-Studies/NEP\\_Case\\_Study.pdf](http://www.aviom.com/library/Case-Studies/NEP_Case_Study.pdf), Letzter Aufruf: 18. August 2013.

Unbekannter Autor: Cirrus Logic, Inc. CobraNet Clocking Modes. 2008, PDF-Dokument. <http://www.cobranet.info/sites/default/files/AN312REV2.pdf>, Letzter Aufruf: 1. August 2013.

Unbekannter Autor: Cirrus Logic, Inc. CobraNet Discovery User's Manual. 2004, PDF-Dokument. [http://www.lancedesign.com/Manuals/UserGuide\\_Disco.pdf](http://www.lancedesign.com/Manuals/UserGuide_Disco.pdf), Letzter Aufruf: 19. August 2013.

Unbekannter Autor: Cirrus Logic, Inc. Switched Networks. 2013. [http://www.cobranet.info/support/design/switched\\_networks](http://www.cobranet.info/support/design/switched_networks), Letzter Aufruf: 10. Juli 2013.

Unbekannter Autor: Cirrus Logic, Inc. Technology FAQ. 2013. <http://www.cobranet.info/technology/faq>, Letzter Aufruf: 10. Juli 2013.

Unbekannter Autor: Cirrus Logic, Inc. Wembley Stadium, London. 2013. <http://www.cobranet.info/community/installations/wembley>, Letzter Aufruf: 31. Juli 2013.

Unbekannter Autor: Digigram. Bauhaus Dessau builds on Digigram's EtherSound products. 2008. [http://www.ethersound.com/news/getnews.php?enews\\_key=164](http://www.ethersound.com/news/getnews.php?enews_key=164), Letzter Aufruf: 5. August 2013.

Unbekannter Autor: Digigram. ESControl. Programmhilfe, 2013.

Unbekannter Autor: Digigram. Overview - An Introduction to the ES-100 Technology. 2006, PDF-Dokument. [http://www.ethersound.com/download/files/EtherSound\\_Overview.pdf](http://www.ethersound.com/download/files/EtherSound_Overview.pdf), Letzter Aufruf: 15. August 2013.

Unbekannter Autor: Digigram. Products categories. 2008. <http://www.ethersound.com/products/product.php>, Letzter Aufruf: 24. Juli 2013.

Unbekannter Autor: Digigram. Technology: Overview. 2008.

<http://www.ethersound.com/technology/overview.php>, Letzter Aufruf: 29. Juli 2013.

Unbekannter Autor: Digigram. Technology: Topologies. 2008.

<http://www.ethersound.com/technology/topologie.php>, Letzter Aufruf: 29. Juli 2013.

Unbekannter Autor: DirectOut GmbH. 2012. <http://www.directout.eu/de/>, Letzter Aufruf: 20. August 2013.

Unbekannter Autor: DirectOut GmbH. M.1k2. 2012.

<http://www.directout.eu/de/produkte/m.1k2.html>, Letzter Aufruf: 20. August 2013.

Unbekannter Autor: DirectOut GmbH. MA2CHBOX. 2012.

<http://www.directout.eu/de/produkte/ma2chbox.html>, Letzter Aufruf: 6. August 2013.

Unbekannter Autor: Lawo AG. DALLIS. Product Information, 2011, PDF-Dokument.

[http://www.lawo.de/uploads/media/PI\\_DALLIS\\_en\\_20111017\\_12.pdf](http://www.lawo.de/uploads/media/PI_DALLIS_en_20111017_12.pdf), Letzter Aufruf: 20. August 2013.

Unbekannter Autor: Lawo AG. Soviel du brauchst. Das Audionetzwerk RAVENNA und Technik von Lawo beim Kirchentag im Einsatz., 2013.

[http://www.lawo.de/de/aktuell/news/news-detail/soviel\\_du\\_brauchst.html](http://www.lawo.de/de/aktuell/news/news-detail/soviel_du_brauchst.html), Letzter Aufruf: 20. Juli 2013.

Unbekannter Autor: Merging. HORUS + RAVENNA MAKES BEAUTIFUL MUSIC.

Chandos records the Orchestre de la Suisse Romande using networked audio converters, 2013 PDF-Dokument. [http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/Chandos-Horus\\_Final\\_RAVENNA.pdf](http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/Chandos-Horus_Final_RAVENNA.pdf), Letzter Aufruf: 20. Juli 2013.

Unbekannter Autor: Merging. TELDEX LOSES WEIGHT. Horus with Pyramix on a laptop aids a busy work schedule, 2013 PDF-Dokument.

[http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/Teldex\\_Vienna\\_Philharmonic\\_Summer\\_Night\\_Concert\\_2013-07.pdf](http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/Teldex_Vienna_Philharmonic_Summer_Night_Concert_2013-07.pdf), Letzter Aufruf: 20. Juli 2013.

Unbekannter Autor: OPTOCORE GmbH. Company Profile. 2010.

<http://www.optocore.com/company/index.html>, Letzter Aufruf: 9. August 2013.

Unbekannter Autor: OPTOCORE GmbH. Control Software. 2010.

<http://www.optocore.com/products/software.html>, Letzter Aufruf: 10. August 2013.

Unbekannter Autor: OPTOCORE GmbH. FAQ. 2010.

<http://www.optocore.com/service/faq.html>, Letzter Aufruf: 10. August 2013.

Unbekannter Autor: OPTOCORE GmbH. Some Outstanding Optocore features. 2010. <http://www.optocore.com/products/Outstandingfeatures.html>, Letzter Aufruf: 9. August 2013.

Unbekannter Autor: OPTOCORE GmbH. The Network. OPTICAL DIGITAL NETWORK SYSTEM, 2007, PDF-Dokument. <http://www.optocore.com/downloads/pdf/Network-Description-v2.12E.PDF>, Letzter Aufruf: 9. August 2013.

Unbekannter Autor: RME Intelligent Audio Solutions. 2013. <http://www.rme-audio.de/>, Letzter Aufruf: 20. August 2013.

Unbekannter Autor: RME Intelligent Audio Solutions. Micstasy. Bedienungsanleitung, 2011, PDF-Dokument. [http://www.rme-audio.de/download/micstasy\\_d.pdf](http://www.rme-audio.de/download/micstasy_d.pdf), Letzter Aufruf: 20. August 2013.

Unbekannter Autor: Riedel Communications GmbH & Co. KG. Rocking Baku – Riedel MediorNet und Artist beim Eurovision Song Contest. 2012. <http://www.riedel.net/Company/News/LatestNews/PressArticle/tabid/121/Article/1699/language/de-DE/RockingBakuRiedelMediorNetundArtistbeimEurovisionSongContest.aspx>, Letzter Aufruf: 1. Juli 2013.

Unbekannter Autor: Riedel Communications GmbH & Co. KG. RockNet. Performance Audio Networks, 2011, PDF-Dokument. [http://www.riedel.net/Portals/0/Downloads/Broschures/Riedel\\_RockNet\\_DE.pdf](http://www.riedel.net/Portals/0/Downloads/Broschures/Riedel_RockNet_DE.pdf), Letzter Aufruf: 9. August 2013.

Unbekannter Autor: Riedel Communications GmbH & Co. KG. RockNet. Über RockNet, 2013. <http://www.riedel.net/de-de/products/signaltransportprocessing/rocknetdigitalaudionetwork/about.aspx>, Letzter Aufruf: 30. Juni 2013.

Unbekannter Autor: Riedel Communications GmbH & Co. KG. RockNet 300. Operating Manual, 2009, PDF-Dokument. <http://www.riedel.net/LinkClick.aspx?fileticket=kA93WxPHi-A%3d&tabid=600&portalid=0&mid=1135&language=de-DE&forcedownload=true>, Letzter Aufruf: 12. August 2013.

Unbekannter Autor: satis&fy mit Joe Cocker auf großer Europatournee. Auf: EventElevator. 2013. <http://www.eventelevator.de/neuigkeiten/beschallung/2711-satisfy-mitjoe-%20cocker-auf-grosser-europatournee>, Letzter Aufruf: 25. Juli 2013.

---

Unbekannter Autor: Soundcraft. Soundcraft Vi4. User Guide, 2010, PDF-Dokument.  
[http://www.soundcraft.com/downloads/fetchfile.aspx?cat\\_id=user\\_guides&id=1885](http://www.soundcraft.com/downloads/fetchfile.aspx?cat_id=user_guides&id=1885),  
Letzter Aufruf: 20. August 2013.

Unbekannter Autor: Synthax GmbH. Referenzen. 2013.  
<http://www.synthax.de/de/optocore-referenzen.html>, Letzter Aufruf: 11. August 2013.

# Anlagen

Anlage 1: Protokoll E-Mail:

**Ehrlich, Jan**  
DirectOut GmbH

***Bei der Recherche zu MADi bin ich auf der Webseite vom RME auf den neuen MADi-Router gestoßen. Da dieses Gerät über alle 3 derzeit am Markt existierenden Schnittstellen verfügt, würde ich eine Abbildung vom MADi-Router in die Arbeit einfügen. Auf der Webseite von RME gibt es jedoch keine einzelne Abbildung des Geräts. Daher meine Frage, können Sie mir ein Abbildung des MADi-Routers zukommen lassen, wo das Gerät von hinten gerade abgebildet ist?***

Diese Absatz ist nicht ganz richtig. Es gibt tatsächlich nur zwei MADi Formate, nämlich BNC coaxial und SC optisch. Die RJ45 Schnittstelle wird von drei Firmen (Optocore, RME, DiGiCo) fälschlicherweise als MADi Schnittstelle (oder MADi 2.0) bezeichnet, hat jedoch mit MADi und damit der zu Grunde liegenden AES10 Spezifikation nichts zu tun. Das hier vorliegende Format ist zudem proprietär und damit auch inkompatibel zu anderen Standards, wie dem RJ45 von Studer/Soundcraft was meinem Wissensstand nach den AES10 Spezifikationen konform ist.

***Vielen Dank für die Information. Zu dem MADi Router gab/gibt es ja bisher keine Dokumente auf der Webseite. Im Standard der AES von 2003 habe ich auch nur optisch und koaxial gefunden. Das Bild mit allen drei "Schnittstellen" soll auch nur in die Kapiteleinführung und die 3 Schnittstellen darstellen. unabhängig davon ob sie untereinander kompatibel sind. gern erläutere ich in dem Kapitel das die RJ45 Schnittstelle am Router nicht mit dem AES10 kompatibel ist.***

nicht unbedingt, denn die Inkompatibilität ist mir nur von RME, Optocore und DiGiCo bekannt. Wir werden in den kommenden Wochen jedoch ein Soundcraft System mit RJ45 MADi testen, von dem wir ausgehen, dass es MADi kompatibel sein wird ([http://www.audiopro.de/live/soundcraft\\_53967\\_DEU\\_AP.html](http://www.audiopro.de/live/soundcraft_53967_DEU_AP.html)).

***Ja die RJ45 Schnittstelle von Soundcraft ist mit dem AES10 konform, bzw. habe ich im Handbuch von Studer unter den Angaben der MADi I/O oder MADi-HD Karte nichts gegenteiliges gefunden. Mittels MADi-HD Karte werden jedoch noch die Steuerdaten für die Stagebox mit übertragen. Ich vermute, dass diese als MIDI-Daten übertragen werden und damit auch konform wäre.***

Richtig, bei Soundcraft/Studer werden traditionell die MIDI (Steuerdaten) in den User-bits übertragen im Unterschied zu bspw. DiGiCo, wo dafür die Kanäle 57-64 verwendet werden und damit nicht als Audiokanäle zur Verfügung stehen.

***Denn die MADI-HD und MADI-I/O Karten gibt es ja auch in SC optischer Version.***

Korrekt, muss aber keinen Schluss auf die Kompatibilität des RJ45 Formates geben (kann auch intern „compiliert“ werden, wie bei RME oder Optocore).

***Bei der Recherche zu Ravenna habe ich auf der Herstellerseite das Logo von DirectOut entdeckt. Auf der Webseite von DirectOut ist jedoch von dem Netzwerk Ravenna nicht zu finden. Gibt es bzgl. Ravenna auf der Webseite Informationen, welche ich übersehen habe bzw. gibt es schon Informationen zu Geräten welche Ravenna unterstützen, welche ich in die Arbeit mit einfließen lassen kann?***

Auf der DirectOut Website befindet sich gleich auf der Startseite als 4. Punkt folgende Meldung zu RAVENNA:

- [http://www.directout.eu/de/presse/publikationen/producer\\_com\\_mit\\_ravenna\\_unterstuetzung.html](http://www.directout.eu/de/presse/publikationen/producer_com_mit_ravenna_unterstuetzung.html)

Hier geht es konkret um das erste Produkt mit RAVENNA, welches wir anbieten. Der ursprüngliche Release zu RAVENNA ist bereits etwas älter:

- <http://www.directout.eu/de/presse/publikationen/directout-ist-ravenna-partner.html>

Tatsächlich gehört die DirectOut von Anbeginn zur RAVENNA Allianz (early adopter group), der auch LAWO, Schoeps, Genelec, Merging oder LSB angehören.

Benötigen Sie die Informationen zu den RAVENNA-unterstützten Geräten nur aus DirectOut Sicht oder auch zu anderen Herstellern?

***Prinzipiell benötige ich Informationen zu DirectOut-Geräten mit Ravenna Unterstützung. Infos zu Geräten der anderen Hersteller werde ich hoffentlich auf den Herstellerseiten finden. Sollte das Nicht der Fall sein, würde ich mich noch einmal dazu melden.***

Immer gern. Ich habe mal unseren Quickstart Guide in Verbindung mit unserer PRODUCER.COM Hardware angehängt. Vielleicht beinhaltet dieser interessante Informationen.

Ansonsten lohnt sich der Blick auf folgende Seiten:

- [www.lawo.de/de/produkte.html](http://www.lawo.de/de/produkte.html)
- [www.merging.com/horus](http://www.merging.com/horus)
- [www.sound4.biz/products/sound4%20ip/sound4%20ip%20applications.htm](http://www.sound4.biz/products/sound4%20ip/sound4%20ip%20applications.htm)



**Karsten Schragmann**

Product Manager

RIEDEL Communications GmbH & Co. KG

***Können Sie mir einige Stichpunkte und ein Datum für die erste Veröffentlichung des Netzwerks Rocknet 300 per E-Mail zukommen lassen?***

Das Digitale Audionetzwerk RockNet wurde ursprünglich von der Firma Media Numerics entwickelt und 2004 erstmalig vorgestellt. 2008 wurde Media Numerics von Riedel übernommen und RockNet in das Produktportfolio eingegliedert.

## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

---

Ort, Datum

Vorname Nachname